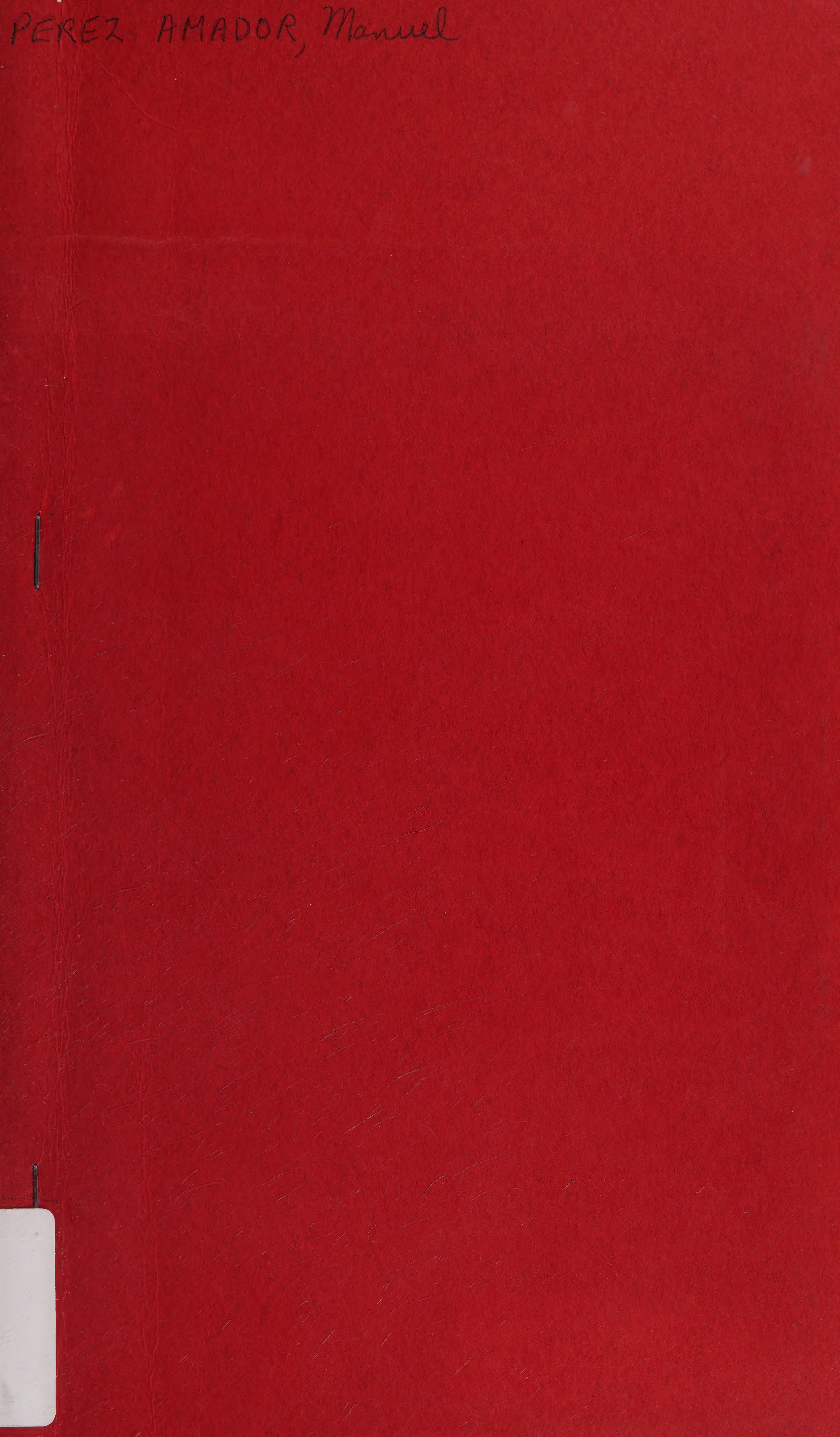

PEREZ AMADOR, Manuel


22500526179

RADIOACTIVIDAD

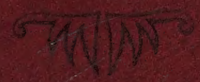
IDEAS GENERALES, HECHOS NUEVOS

Por el

Dr. Manuel Pérez Amador,

PROFESOR DE ANATOMIA PATOLOGICA EN LA ESCUELA MEDICO-MILITAR, JEFE DE LA SECCION DE BIOLOGIA MEDICA EN LA DIRECCION DE ESTUDIOS BIOLOGICOS, PROFESOR DE LA UNIVERSIDAD POPULAR MEXICANA, ADJUNTO LA CLASE DE HIGIENE TEORICO-PRACTICA DE LA ESCUELA NACIONAL DE MEDICINA Etc.

M. S. A. A. S. U.



MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ARTES GRAFICAS

1a. Aztecas No. 1.

1917

RADIOACTIVIDAD

IDEAS GENERALES, HECHOS NUEVOS

Por el

Dr. Manuel Pérez Amador,

PROFESOR DE ANATOMIA PATOLOGICA EN LA ESCUELA MEDICO-MILITAR, JEFE DE LA SECCION DE BIOLOGIA MEDICA EN LA DIRECCION DE ESTUDIOS BIOLOGICOS, PROFESOR DE LA UNIVERSIDAD POPULAR MEXICANA, ADJUNTO DE LA CLASE DE HIGIENE TEORICO-PRACTICA DE LA ESCUELA NACIONAL DE MEDICINA Etc.
M. S. A. A. S. U.

MEXICO.
ESCUELA NACIONAL DE ARTES GRAFICAS
1a. Aztecas No. 1.
1917

DEL MISMO AUTOR

"*Sur la decharge du électroscope.*" (Primer premio en el Gran Concurso Nacional del Centenario.)

"*Estudio Clínico de la Hemorragia.*" (Primer premio en el Concurso de Clínica Quirúrgica del H. Juárez.)

"*La oxidación del Ph. como fuente de radioactividad.*" (Premiada en el Concurso «Fomento.»)

"*Estudio sobre la quinina.*" (Primer premio en la clase de Terapéutica Médica en la E. N. de Medicina.)

"*Las Maravillas de la Ciencia.*" Serie de ocho conferencias sobre los siguientes puntos, dada en la Universidad Pupular Mexicana:

I. "*La Unidad Universal.*"
II. "*Ondas de Hertz y Telegrafía Inalámbrica.*"
III. "*Luz y análisis espectral.*"
IV. "*Los Rayos X.*"
V. "*Ideas actuales sobre la Materia.*"
VI. "*El Radio.*"
VII. "*La Afinidad Química.*"
VIII. "*Los fenómenos Biológicos a la luz de la físico-química.*"

Al eminente Sr. Dr. Dn. Nicolás León, atentamente.
[illegible]
Mex. 18 dic 1918

PRIMERA PARTE

IDEAS GENERALES

CAPITULO I

§ I

LA RADIOACTIVIDAD: FENOMENO UNIVERSAL

En memorable polémica sostenida entre Crookes, Thomsom, Lodge y otros sabios distinguidos, se discutió si todas las manifestaciones de radioactividad observadas en la Naturaleza se debían a la presencia del Radio o de sus congéneres.

Brillante y apasionada fué la controversia; pero inciertas sus conclusiones. Las sombras que velaban el misterio cada vez parecieron más densas. Sin embargo, allá en los amplios horizontes de la Ciencia se percibían destellos de una luz que, más tarde, disiparía las tinieblas, iluminando acaso senderos nuevos de ciencias incipientes.

El astro que tales rayos proyectara brilló al fin con todo su explendor: Gustavo Le Bon demostró, a pesar de protestas y dicterios lanzados en su contra, que es la radioactividad fenómeno inherente a la materia, es efecto de una energía propia del átomo y donde quiera que existan átomos podrán obtenerse fenómenos de radioactividad.

El rayo de luz que hiere un metal, la oxidación, la hidratación, la elevación de temperatura, las corrientes eléctricas, y en general el agente físico o la transformación química y hasta el simple contacto de substancias disímiles son capaces, en circunstancias apropiadas, de originar la proyección en el espacio de «corpúsculos» animados de prodigiosas velocidades comparables, tan solo, con la maravillosa velocidad de la luz.

Si es la radioactividad atributo tan universalmente extendido; que pertenece a la materia cualquiera que sea la forma y nombre con que se la designe; que lo mismo es radioactivo el H. producido al descomponerse el S O^4 H^2 por Fe, que la arena

de los desiertos bañada por los rayos del Sol; [1] que en idénticas radiaciones gasta su energía interna el Ph al formar $Ph^2 O^5$ que el Ra engendrando un átomo de He. ¡Por qué obstinarse en atribuírla a cuerpos privilegiados y en tomarla para caracterizar pretendidas familias químicas cuyas propiedades verdaderamente determinantes se desconocen!

Para la ciencia actual no será ya moderno alquimista el que vele sobre alambiques y retortas para encontrar la mezcla o combinación que poniendo en juego la energía intra-atómica asegure una radiación abundante y prolongada. Quizá el día en que el problema se resuelva no esté lejano, «........cuando ese día llegue, una fuente casi indefinida de energía estará a disposición del hombre y el Mundo cambiará necesariamente de aspecto.» (Le Bon, loc. cit.)

§ II.

LA RADIOACTIVIDAD

Clasificación.

Surge un hecho, apréciase un fenómeno y bien sea porque los observadores se colocan en diversos puntos de vista, o bien por comprensión distinta del mismo asunto y en muchos casos por el simple deseo de singularizarse e imponer extravagantes ideas personales, al interpretar las observaciones comienzan las divergencias siendo esta diversidad de criterio, en frecuentes ocasiones, causa preponderante de estancamiento de las ideas y rémora invencible para el progreso de la ciencia.

Desgraciadamente en el campo de estudios de radioactividad surgió esta división impidiendo que desde luego se formase un capítulo homogéneo y amplio donde quedasen encerrados innúmeros hechos que vagaron dispersos, pues no podían encajar dentro de aquellos estrechísimos límites pseudo-oficiales, que en un principio se pretendió asignar a esta rama del saber.

El orgullo manifestose de manera especialísima y aún llegó a consagrar un grupo de cuerpos privilegiados que mostrasen sobrenaturales propiedades. Sólo ellos debían aspirar al honor de ser clasificados entre los productores de radioactividad y sólo el estudio de sus propiedades podía ostentar el deslumbrante neologismo.

---

(1) Le Bon "L' Evolution de la Matiere." Pág. 351.

Preclaros cerebros propugnaron por generalizar los hechos. Anotaron semejanzas marcando tambien las diferencias y en buena lógica inferían la universalidad del fenómeno. Pero el sectarismo se alzaba formidable; fué necesario que la elocuencia de los acontecimientos se impusiera a traves del tiempo para que examinando detenidamente el fenómeno radioactivo se conviniese en que consiste tan solo en la producción simultánea o sucesiva de "emanación" y rayos *Alpha*, *Beta* y *Gamma*.

"La emisión de partículas y el desprendimiento de "emanación" constituyen los fenómenos fundamentales de la radioactividad". (Le Bon.)

Aunque actualmente la inmensa mayoría tenemos este amplio criterio, existe un pequeño grupo, cada vez más reducido, que siguiendo una idea egoísta y raquítica de un personaje científico, pretende designar con el nombre de fenómeno radioactivo tan solo el que se manifiesta con una aparente espontaneidad como acontece en el Ra, el Ur o el Po y deja a un lado todos aquellos casos en que, mediante un artificio químico o físico, se determina la producción de las entidades ya señaladas y que forman según ya lo hemos dicho, la verdadera característica del fenómeno.

Clara idea de tal manera de interpretar los hechos encontramos en Soddy (La Chimie des elements Radioactives. pag. 13-1915.) cuando dice: "La radioactividad, siendo la manifestación de una *transformación atómica espontánea*, la menor cantidad de cualquier tipo de materia en que puede ser comprobada es la cantidad mínima en que dicha transformación puede probarse."

Para nosotros la causa del fenómeno sirve únicamente de base para establecer una clasificación, como veremos más adelante, pero el fenómeno lo caracterizaremos por sus atributos inseparables y sin los cuales dejaría de existir.

A cualquier fisico le parecería absurdo que las vibraciones del Eter comprendidas entre 0, 4 *micra* y 0, 8 *micra* de longitud de onda y entre tres y ocho billones de oscilaciones por segundo se llamasen Luz cuando se producen con aparente espontaneidad en el Sol y que tuviesen otro nombre, menos el de Luz, cuando el origen de tales vibraciones es el arco voltaico, la lámpara de gasolina, la de Nerst, la vulgar bujía esteárica o cualquiera otra fuente luminosa.

Sería ridículo que llamasemos electricidad a eso que poseen las nubes y la tierra, al parecer espontáneamente y que se manifiesta en el rayo; pero que jamás diésemos tal nombre a lo que produce la máquina Wimshurst o de Toepler, o a lo que obtenemos en las pilas mediante reacción química o en las dínamos por sección de líneas de fuerza.

Teniendo en cuenta tales razones y siguiendo la tendencia

que ya se hace universal, llamaremos fenómeno radioactivo a todo aquel en que podamos comprobar con Le Bon, la producción de "emanación" rayos *Alpha*, *Beta* y *Gamma*.

Si estas cuatro entidades coexisten en un momento dado, la radioactividad será *total;* designándose con el nombre de *parcial* en los casos en que sólo una o varias unidades de las ya mencionadas se encuentren presentes.

Teniendo ahora en cuenta la manera de obtener el fenómeno, encontramos un motivo para clasificar las manifestaciones radioactivas y así, cuando a primera vista no descubrimos la causa que motiva la producción de los rayos como acontece en el Ra, Ur, etc., decimos que se trata de un caso de radioactividad *espontánea*.

Cuando para obtener los fenómenos radioactivos tenemos necesidad de recurrir a la reacción química o al agente físico, la radioactividad será *provocada*. Encontramos un ejemplo clarísimo de radioactividad por reacción química en la producción de radiaciones penetrantes durante la oxidación del Ph; y una muestra de producción de iones y electrones por influjo de agente físico en la acción de la Luz sobre el estaño amalgamado.

En este grupo de radioactividad *provocada* quedan comprendidos casi todos los brillantes trabajos de Le Bon.

El tercer grupo está formado por la radioactividad *inducida*.

Se dice que un cuerpo presenta radioactividad inducida cuando sujetándolo a la acción de una fuente radioactiva adquiere la propiedad temporal de emitir radiaciones *Alpha*, *Beta* o *Gamma* y aun las tres simultáneamente.

Surge aquí un hecho muy digno de observarse porque revela el poder del egoismo.

Desarrollábanse paralelamente acontecimientos que quedaban clasificados en el primer grupo, esto es entre los fenómenos radioactivos espontáneos y acontecimientos claramente comprendidos en el segundo, o sea en el que hemos llamado provocados. Los sectaristas negaron que las emisiones de "corpúsculos" pudiesen llamarse fenómenos de ractioactividad cuando eran despertadas por medio de las fuerzas que tenemos a mano; pero no tuvieron inconveniente en aceptar el tercer grupo o sea el de ractioactividad *inducida*. Y no pusieron reparos en aceptarlo por una sencilla razón: eran ellos quienes habían comprobado que los cuerpos sujetos a la acción del Radio adquieren propiedades temporales semejantes a las que tiene este cuerpo.

Si hubiesen sido consecuentes con sus ideas jamás hubiesen designado este hecho con el nombre de *radioactividad* pues no hay ejemplo más claro de la no espontaneidad de este fenómeno puesto que se afirma que se verifica por *inducción* esto es, por influjo exterior de otro cuerpo. De aquí se infiere facilmente

que aun en el ánimo de estos observadores estaba la idea clarísima de reconocer el fenómeno por sus atributos inseparables y de ninguna manera ateniéndose al criterio que, por cuestiones meramente personales, tuvieron la mala fortuna de proponer.

CAPITULO II

LOS RAYOS ALPHA

La producción de rayos *Alpha* es, indudablemente, de las primeras manifestaciones de desintegración del átomo y, por consecuencia, de los primeros fenómenos de radioactividad. Es suficiente llevar un alambre a la incandescencia para que principie a emitir radiaciones *Alpha* y durante la combustión hay un enorme desprendimiento de estas radiaciones; las lámparas incandescentes comunes, las máquinas electrostáticas el sulfato de quinina hidratándose, el rayo luminoso cayendo sobre una superficie metálica, o la simple calefacción de esta última engendran rayos *Alpha* que no difieren unos de otros sino por su diverso poder penetrante, pero este poder penetrante más o menos desarrollado no basta para negar a determinada radiación su parentezco con los productos de la radioactividad pues debemos recordar que el Polonio, que figura entre los cuerpos más enérgicamente radioactivos, sólo produce radiaciones desprovistas de poder penetrante.

Este diverso poder de penetración demuestra que cada rayo *Alpha* no siempre es un simple electrón positivo rodeado, merced a sencilla atracción electrostática, de porciones de materia neutra, pues siendo constante la fuerza atractiva el peso del cortejo neutro sería también constante y la velocidad de desalojamiento se mantendría igual para todos los rayos *alpha* pero medidas de gran precisión han demostrado la inconstancia de velocidad, de donde se ha inferido la complexidad del grupo de radiaciones *alpha* de las cuales cuatro ya están hoy perfectamente determinadas.

La interpretación de J. J. Thomson, está más en armonía con los hechos al expresar que el rayo *alpha* no es otra cosa sino lo que resta del átomo después de haber emitido uno o varios electrones negativos y que en virtud del desequilibrio eléctrico que resulta, por predominancia de la carga positiva, se rodea de pequeñísimas partículas de materia neutra.

Considerando el ion de esta manera no tenemos dificultad para explicarnos las diversas velocidades que adquieren los rayos *alpha* y que pueden alcanzar 30,000 K. por segundo.

Rutherford propone una sencilla fórmula para calcular la velocidad de una partícula *alpha* cuando se conoce la longitud de su trayectoria.

Llamando L esta longitud tenemos:

$$V^2 = K\ (L+1.25)$$

Mediante la aplicación de esta fórmula el autor ha encontrado 2.5×10^9 como mínimun para la velocidad de un rayo *alpha*. Hammer encuentra 2.51×10^8 C. G. S.

Para Geiger la fórmula se simplifica mucho más reduciéndose a:

$$V^3 = KL.$$

Para J. J. Thomson la velocidad es de 2.000 K. y para Wien de 3.600 K. por segundo.

La masa del rayo *alpha* es comparable a la que presenta el átomo de Hidrógeno. Experimentos relativamente antiguos, aunque no se alejan de esta fecha más allá de ocho años o diez, confundían el "ion" positivo o rayo *alpha* con un átomo de Helio, lo que no es correcto por razones que después veremos. La comparación debe hacerse entre dos valores límites por no presentar el rayo *alpha* un número constante que exprese dicha masa que varía con la velocidad según lo enseña la primitiva fórmula de Kaufman. No obstante, Ratnovsky ha probado que si bien es verdad que dichas variaciones se efectúan, éstas no se hacen en desacuerdo con lo que admite hoy la Ciencia y que dichos cambios se ajustan en todo a la teoría de Lorentz con cuyas fórmulas concuerdan llegando a mayor aproximación que con la primitiva deKaufman.

Esta masa del "ion", relativamente grande, explica la poca penetración de estos rayos que son detenidos por unos cuantos centímetros de aire lo que hace imposible observar sus efectos a más de seis o nueve centímetros de su punto de orígen. Los menos penetrantes se detienen a cuatro milímetros del sitio de emergencia y ninguno de ellos, ni los más penetrantes, son capaces de atravesar una hoja de papel grueso. Bragg ha encontrado un valor medio según el cual la trayectoria de los rayos *alpha* es de 2.8 a 8.6 centímetros quedando en este límite proporcional a la raíz cuadrada del peso atómico de la substancia que los emite.

El Torio C, según Marsden y Barrat, proporciona por mo-

lécula-gramo 35% de rayos *alpha* de 4.8 centímetros de trayectoria y 65% con alcance de 8.5 centímetros. Estos estudios han sido el punto de partida de importantes consideraciones filosóficas que bien quisiéramos citar pero que las dimensiones de esta obra nos los impiden.

Esta propiedad puede utilizarse ventajosamente para estudiar las diversas radiaciones que parten de una substancia radioactiva y se presta muy bien para calcular la relación entre los diversos rayos.

La movilidad de los iones positivos (y también la de los negativos) varía con la presión y Kovarik, en un magnífico estudio sobre este punto, basado en los trabajos de Rutherford asienta que la movilidad de los iones en el aire seco y en el Hidrógeno varía en razón inversa de la presión hasta 75 atmósferas. Cuando la presión aumenta aproximándose el gas al estado líquido, la relación cambia como puede observarse con el anhídrico carbónico húmedo en el cual el producto de la movilidad por la presión sólo queda constante hasta 40 atmósferas. Kovarik encuentra como cifras medias las siguientes:

Aire seco................................1,89
Hidrógeno seco......................8,19
Anhídrico carbónico húmedo.....0,67

Estas medidas son en unidades C. G. S.

Sin embargo la humedad cuando no llega a una cifra muy alta tiene poca influencia sobre la movilidad de los iones positivos como lo demuestran los trabajos de Lattey hechos consumo cuidado y precisión.

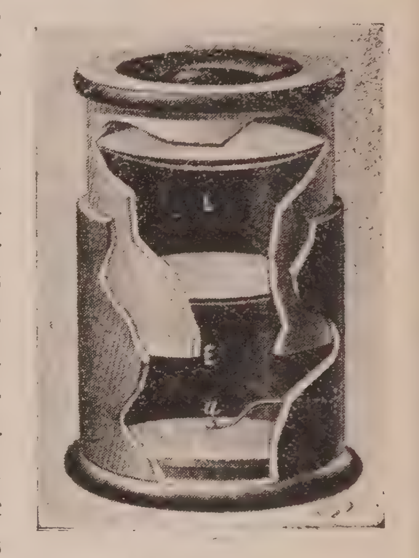
Broglie ha comprobado que los iones que aparecen durante algunas reacciones químicas a temperatura elevada, coma la formación de $C\ 0^2$ partiendo de C 0 son enteramente comparables a los que origina el Radio y la movilidad de ambos es igual.

En algunos casos es la radiación *alpha* la única que se presenta, más aún siendo total la radioactividad siempre es la radiación que nos ocupa la más abundante llegando a constituir el 99% de la emisión del Radio. Rutherford ha calculado en $1{,}36 x 10^{11}$ de rayos *alpha* los producidos por molécula-gramo de Radio y 70,000 para la misma unidad de Uranio. Posteriores experimentos de J. L. Brown asignan al Ur $7{,}36 x 10^{4}$. El Ph en oxidación da alrededor de $5 x 10^{6}$ en condiciones apropiadas.

Disponiendo un tubo de vacío como el usado por Goldstein para sus estudios sobre el orígen de los rayos X, se obtienen torrentes de Kanalstrahlen que en último análisis no son otra cosa que rayos *alpha* obtenidos por vía física. Prefiero llamar a estos rayos con su nombre alemán porque este da clara idea

del fenómeno lo que no se obtienen llamándoles como los franceses que traducen literalmente los componentes del nombre.

Cuando los rayos *alpha* chocan contra alguna substancia susceptible de fosforescencia tal como el sulfuro de zinc, determinan puntos brillantes fácilmente observables con una lente. Crookes aprovechó esta propiedad para construir su espintariscopio cuyo efecto óptico es sencillamente admirable: en un cielo apenas iluminado por ténue resplandor verde-azulino innumerables estrellas aparecen y mueren con rapidez vertiginosa; fugaces relampaguillos cruzan en todas direcciones y una forma obscura se destaca en el centro llevando en pos de sí, cuando se mueve, todo ese enjambre de corpúsculos luminosos, todo ese mar de oleaje fosforescente: la aguja del espintariscopio.



Corte del espintariscopio de Crookes.

Von Dechen y W. Hammer han observado este mismo interesante espectáculo con los kanalstrahlen y Giesel, prosiguiendo la experimentación de los autores ya señalados, sólo que empleando una ámpula de alto vacío y una perforación catódica muy pequeña ha obtenido la cintilación espintariscópica con notable intensidad llegando a un alto grado de perfección cuando aumentó el poder penetrante de la radiación mediante un potente campo electrostático. Con esta última modificación el fenómeno adquiere tal limpidez que aun la numeración de las partículas sería posible como lo pretende Regener.

Tratándose del espintariscopio de Crookes, Le Bon explica la producción de cada punto luminoso por el choque de una partícula *alpha* con una molécula de sulfuro de zinc. Kœnigsberger y Kutschewski llegan a una explicación igual del fenómeno cuando se trata de los kanalstrahlen y aun después de estudiar los tres casos que ellos mismos se proponen examinar concluimos que explicaciones iguales deben aplicarse a fenómenos iguales.

La complexidad de la radiación *alpha* no solo se encuentra cuando se forma en los cuerpos radioactivos a la presión atmosférica ordinaria, sino también cuando esta radiación se origina en el ámpula de aire enrarecido; en efecto, Gehrck y Reichenheim han encontrado, por lo menos, dos clases perfectamente comprobadas de kanalstrahlen cuando estos se forman en el hidrógeno enrarecido; para estas dos clases de "iones', positivos la relación de $e|m$ es igual en unos a $1x10^4$ y en los otros a $5x10^3$. Estas cifras son quizá dos límites pues en el Helio la relación es de $2.5x10^3$. El valor medio encontrado por Wien es $0,3x10^3$.

No es raro encontrar en algunos opúsculos $e|m$ $5.07x10^3$.

El estudio de la relación e|m en los rayos *alpha* se facilita mucho empleando el dispositivo del americano Knipp. Este experimentador hace salir los rayos positivos en un cátodo de Wehnelt y refuerza el poder penetrante de esta radiación aumentando su velocidad mediante nuestro procedimiento electrostático, esto es, poniendo en la parte posterior del cátodo un condensador acelerador cuyo potencial no baje de 500 voltios por centímetro cuadrado. Con este procedimiento Knipp ha encontrado cifras idénticas a las halladas por J. J. Thomson para los kanalstrahlen.

El paso de los rayos *alpha* a través del aire, o de cualquiera otra masa gaseosa, determina diversos fenómenos. Desde luego el "ion" positivo encuentra en su camino moléculas gaseosas y del choque de ambas entidades se origina una conmoción de la molécula neutra que queda disociada en dos porciones, una de las cuales forma un nuevo rayo secundario *alpha* dotado de iguales propiedades que el rayo primitivo según lo ha demostrado H Baerwald. En cuanto a esta ionización de los gases por los rayos *alpha*, Bragg encuentra que siendo UNO para el aire, es como sigue para los otros cuerpos que ha estudiado:

Anhídrico carbónico	1.08.
Eter sulfúrico	1.32.
Pentano	1.35.
Benzena	1.29.
Cloruro de etilo	1.32.

Como acabamos de ver una porción de la molécula disociada ha constituído un rayo *alpha* prima secundario y la otra parte, que forzosamente tiene que quedar con carga negativa, constituye, sin duda, esos iones negativos de velocidad menor que los positivos y estudiados por Kœnigsberger y Kutschwky con los Kanalstrahlen.

Por lo que respecta al rayo *alpha* que ocasionó esta serie de fenómenos que hemos narrado, naturalmente no continua su trayectoria primitiva, lo que sería contrario a las leyes fundamentales de la Mecánica, sino que, como lo ha demostrado Kleeman, y dentro de un momento lo veremos confirmado en las fotografías de Wilson, es desviado de su camino y sigue la resultante de las fuerzas que concurrieron en el punto de choque.

Posteriormente Geiger observó que si un haz de rayos *alpha* chocaba contra una delgada hoja de oro algunos rayos no la atravesaban y eran rechazados bajo un ángulo que podía sobrepasar al de 90°. Tal fenómeno se debe a que el rayo *alpha* ha encontrado en su camino un átomo material y naturalmente ha tenido que seguir la resultante. Estos notables experimentos de

Geiger le han conducido a cálculos referentes al diámetro del átomo y tendremos oportunidad de hablar de este asunto al ocuparnos en el estudio de la constitución de la materia.

Teniendo en cuenta la masa del rayo *alpha* y la del átomo de hidrógeno, la teoría hacía prever que si un rayo *alpha* chocaba con un átomo de gas la velocidad de translación del átomo de hidrógeno debía ser aumentada 1.60 y por consiguiente la trayectoria sería cuatro veces mayor, dadas las relaciones ya indicadas, que son 1:4.

En efecto Marsden ha comprobado este hecho mediante el método de las cintilaciones y ha calculado que la distancia entre ambos nucleos no debe ser mayor de 10^{18}. Como se ve esta distancia es menor que el diámetro calculado del electrón.

En la siguiente fotografía obtenida por Wilson puede verse como el rayo *alpha* al chocar contra un átomo material se desvía siguiendo la resultante tal como lo anunció Kleeman.

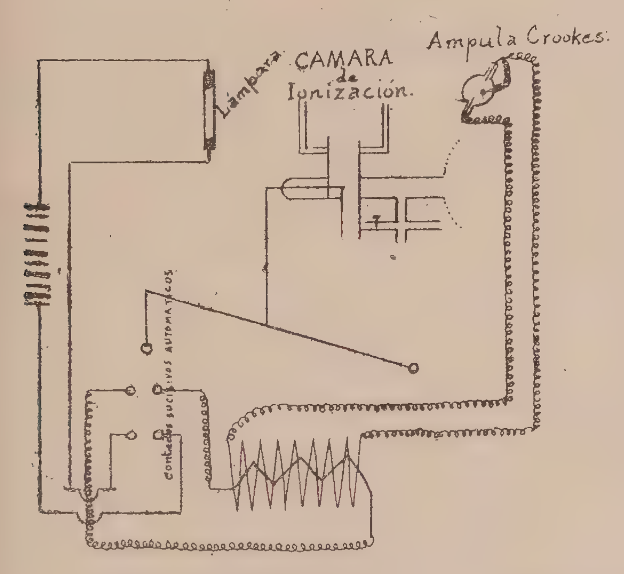


Desviación de la trayectoria de partículas *alpha* por choque contra átomos materiales. (Wilson.)

A propósito de los experimentos de Geiger que acabamos de citar referentes al paso de los rayos *alpha* a través de hojas de oro, recordaremos un hecho curioso observado por Kleeman y que nosotros hemos podido comprobar durante nuestros experimentos: si un número N de rayos *alpha* atraviesa una hojuela metálica apropiada o choca contra ella simplemente, puede acontecer que por la cara opuesta al choque aparezca un número de rayos *alpha* mayor que N. Este hecho, al parecer extraño, se aclara perfectamente si recordamos la disociación que cada "corpúsculo" determina en las moléculas neutras y los demás fenómenos ya analizados que siguen al choque en cuestión.

Si la masa gaseosa atravesada por los rayos *alpha* es el vapor de agua sobre saturado, se produce una nueva serie de fenómenos de los cuales el más importante es, sin duda, la formación de centros condensados que corresponden a cada uno de los rayos presentes en la cámara de ionización. La propiedad condensante de la electricidad sobre el vapor de agua fué observada por primera vez, desde hace mucho tiempo, por Helmholtz. Aprovechando esta propiedad de los "iones" Wilson ideó un procedimiento que no solo permite contar el número de "corpúsculos" sino también seguirlos en su trayectoria y hacerlos casi palpables lo que a primera vista parecería punto menos que imposible.

Como puede verse en el esquema adjunto, el dispositivo de Wilson consta de una cámara de ionización sobre-saturada por vapor de agua y en conexión por una parte con una cámara fotográfica y por otra parte con un ingenioso aparato que llegado el momento propicio deja caer una esfera metálica que establece un contacto sucesivo primero entre los terminales que harán accionar el tubo de Crookes productor de la ionización y después entre los extremos que cierran el circuito de la lámpara de iluminación mediante la cual se fotografía el fenómeno. La cámara de ionización tiene detalles muy importantes, así como tambien el resto del dispositivo que omitimos reservándolos para una obrita especial sobre "Técnica" que tenemos en preparación.



Dispositivo Wilson para contar y fotografiar "corpúsculos"

Mediante tal dispositivo, Wilson ha obtenido magníficas impresiones tales como la adjunta y en la cual puede hacerse un pormenorizado estudio de la condensación determinada por cada rayo así como de la trayectoria y choque de las partículas *alpha*. Como cada "ion" corresponde a un trazo fotografiado en la placa la numeración de estos iones se facilita grandemente.



Fotografía de las trayectorias seguidas por las partículas *alpha*

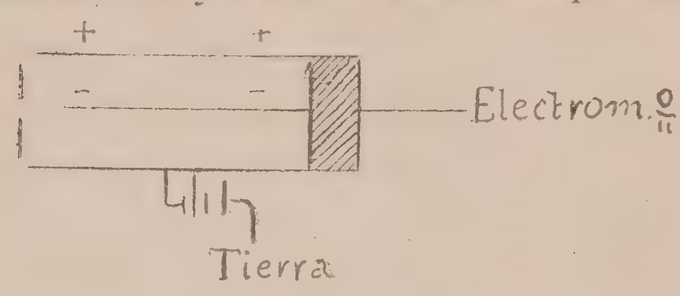
La numeración de los rayos *alpha* mediante el procedimiento de Rutherford y Geiger conduce a resultados igualmente precisos, sólo que su fundamento es totalmente diverso aun cuando la fotografía pueda ser también aplicada.

El órgano esencial del dispositivo ha sido modificado últimamente por Geiger alcanzando el aparato, con tal modificación, una gran sensibilidad y un alto grado de precisión.

Este revelador de "corpúsculos" consta de una caja metáli-

ca electrizada, en este caso positivamente y en cuyo interior penetra una punta metálica aislada de la pared de la caja. Esta punta, mantenida a un potencial no menor de 1,000 voltios, termina como a un centímetro de distancia frente a la ventanilla por donde penetran los rayos por contar; la otra extremidad queda en conexión con el electrómetro revelador de la entrada de cada corpúsculo.

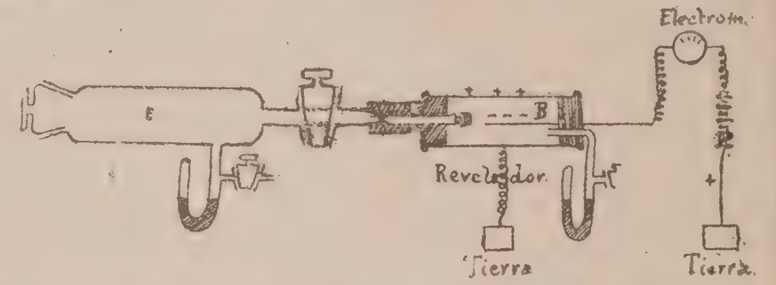
El dispositivo completo consta de una cámara E de aire enrarecido y a traves de la cual pasarán los rayos *alpha* que llegan hasta la ventana D cubierta con una delgada capa de mica, que atraviesan para llegar al tubo revelador cuyo aire se encuentra un tanto enrarecido también.



Revelador de Geiger

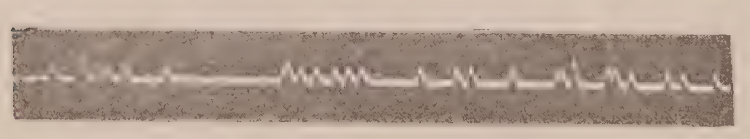
La entrada de cada rayo *alpha* se revela por una desviación de la aguja de un electrómetro de sensibilidad extraordinaria.

Sucede frecuentemente que la aguja aun no ha vuelto a cero cuando una segunda partícula vuelve a determinar nueva desviación de la aguja; como en este caso los efectos se suman, el ángulo de separación aumenta considerablemente.



Dispositivo de Rutherford y Geiger para contar rayos *alpha*

Esta desviación puede inscribirse perfectamente obteniéndose fotografías tan demostrativas como la adjunta que tomamos de la obra de Rutherford y en la cual pueden verse las particularidades que hemos señalado.


Efecto de las partículas *alpha* revelado por un fenómeno balístico del electrómetro

A estos procedimientos de numeración debemos agregar el moderno de Kinoshita comprobado por las observaciones de Makower y Reinganum.

Kinoshita observó que los compuestos halógenos de la plata reaccionan de manera muy especial a los rayos *alpha*. En efecto cada rayo *alpha* reduce únicamente un grano del compuesto argéntico, por consiguiente si la placa impresionada por

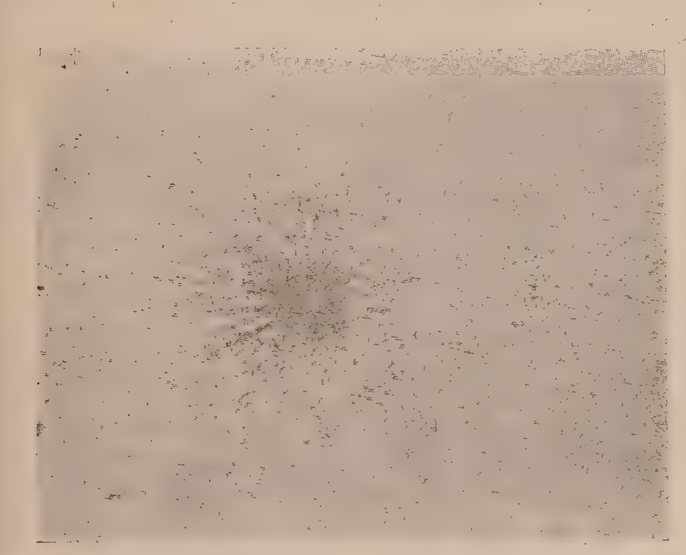
rayos *alpha* es observada al microscopio se puede saber cuantos rayos *alpha* la impresionaron con solo contar el número de huellas visibles en dicha placa.

Para que la impresión sea más facilmente interpretable Kinoshita reduce tanto como es posible la superficie radiante empleando una delgada punta empapada en la substancia cuyos rayos se pretende numerar.

La fotografía siguiente está obtenida por el procedimiento que acabamos de indicar.

En esta fotografía el centro emisivo de la derecha de la prueba es particularmente notable por su claridad y precisión.

Los trabajos de Kinoshita no se han concretado únicamente a la numeración de los rayos *alpha* sino que ha intentado averiguar la relación que existe entre la densidad de una película material atravesada por los iones y el número absoluto de éstos.



Numeración de partículas *alpha* por el método de Kinoshita.

Así, llamando D la densidad de la película y N el número de partículas, la relación puede obtenerse mediante la siguiente formula:

$$D = D_{max}(1 - e^{-cn})$$

La afirmación que sintetiza esta fórmula está fundada en experimentos que es necesario repetir.

Para terminar esta ya larga enumeración de las principales propiedades y métodos de observación de las constantes de los rayos *alpha* sólo nos queda por asentar que Bergwitz al continuar los experimentos de Ramsey y Giesel ha creído observar que los rayos *alpha* emitidos por el Polonio tienen la propiedad de descomponer el agua para lo cual emplean una mínima parte de su energía gastando el resto, que puede llegar al 90% del total, en elevar la temperatura del volumen líquido en experiencia.

Estos experimentos necesitan comprobación pues rayos *alpha* originados en otras condiciones no presentan este fenómeno. Quizá en el caso del Polonio sea un fenómeno semejante al que Le Bon señala en el Mercurio o el Aluminio cuando contienen vestigios de cuerpos extraños.

LOS RAYOS BETHA

Después de transcurrido el tiempo, cuando tantos y tantos experimentadores estudiando unos los rayos *Betha* de los cuerpos radioactivos y otros los rayos bautizados por Wiedemann con el nombre de catódicos, pero que deberían llevar el nombre de su ilustre descubridor *Plücker*, han llegado a obtener resultados concordantes que prueban hasta la evidencia la identidad de ambas radiaciones, no extrañará que en este mismo capítulo se encuentren resumidos trabajos que corren dispersos referidos unos a los rayos *Betha* y otros a los rayos catódicos.

Una vez más se muestra fecundo el criterio afirmado en el segundo capítulo que nos permite hacer una síntesis análoga a la que hicimos tratándose de los rayos *Alpha* y a la que haremos al ocuparnos en el estudio de la radiación *Gamma*. La diferencia entre el rayo *Betha* del Torio o del Radio y el rayo catódico estudiado por Hittorf sólo consiste en que el primero parece espontáneo en su producción en tanto que el segundo se engendra por un procedimiento físico.

Los rayos *Betha* son electrones negativos o sean átomos de electricidad pura y, de manera análoga a los rayos *Alpha*, se producen en diversas condiciones que pueden agruparse en los mismos capítulos que hemos distinguido al ocuparnos en la clasificación de los fenómenos radioactivos.

El nombre "electrón" fué sugerido por Johnstone Stoney desde 1891 para designar la unidad natural de electricidad propuesta por él en 1874; posteriormente J. J. Thomson empleó el mismo nombre para designar el rayo *Betha*, "corpúsculo" o rayo catódico.

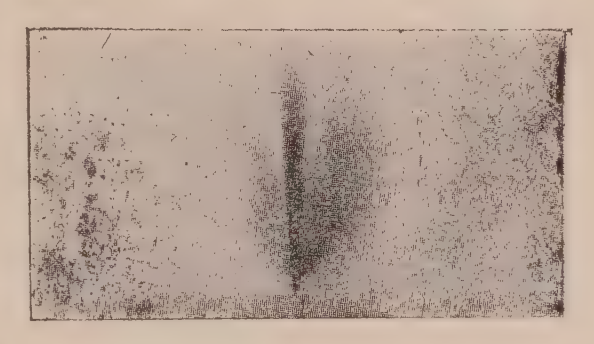
La masa del electrón negativo es sumamente pequeña y está comprendida entre 0,0005 y 0,001 de la masa del átomo de hidrógeno y al igual del rayo *alpha* tiene variaciones de masa dependientes de la velocidad. La fórmula de Lorenz conviene mejor a estas variaciones que la primitiva de Kaufmann.

El máximun de velocidad corresponde al 99% de la velocidad de la luz; pero entre esta velocidad máxima y la mínima existe toda una gama muy difícil de explicar, pues en este caso la partícula *Betha* no tiene variaciones como las observadas para el rayo *Alpha*.

Tratándose de partículas *Betha* engendradas en el tubo de vacío la explicación no presenta serias dificultades cuando se trata de variaciones en el tiempo como lo ha demostrado Villard, pues cambiando la caída de potencial catódico nada más natural que se altere la velocidad con que son lanzados los

electrones y por consiguiente el ángulo dedesviación en el campo electrostático; pero en el otro caso, esto es, cuando se trata de las variaciones en el espacio, como lo ha probado Birkeland y sobre todo, de los electrones negativos lanzados por un cuerpo radioactivo, la explicación es sumamente difícil.

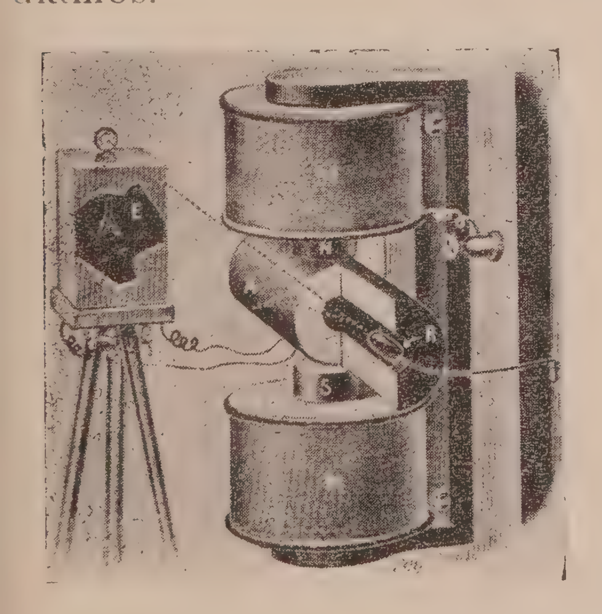
Pero sea cual fuere la causa, el hecho innegable es que la radiación *Betha* es complexa y formada por electrones de muy variadas velocidades; nada más sencillo de realizar que los experimentos de Deslanders (que por conocidos no los describo) ycompararlos con los de Becquerel llevados a cabo con el Radio, para ver la identidad de resultados. La fotografía adjunta (tomada de una memoria de Becquerel) indica cuan grande es el espectro de los rayos *Betha* lo que demuestra la enorme variación de velocidad en dicha porción *Betha* desde un borde hasta el otro.



Gran mancha formada por la desviación de los rayos *Betha*. En el centro rayos *Gamma* no desviados, a la derecha los rayos *Betha* muy desviados y a la izquierda los rayos *Alpha*.

Más adelante tendremos oportunidad de referirnos a los trabajos de Lenard y podré entonces hacer una comparación con la fotografía obtenida con rayos catódicos desviados por el campo electrostático.

Un sencillo dispositivo de Curie compuesto, como se ve en la figura, de un poderoso electroimán, un electroscopio y un tubo de plomo son suficientes para poner de manifiesto la acción del campo magnético sobre los rayos que estudiamos.



Para Hahn esta diversidad de velocidades de las partículas *Betha* y por ende de su poder penetrante, es constante para cada especie de "corpúsculos" y puede servir para clasificarlos como pretendía Mistner y aún para descubrir nuevas especies permitiendo al mismo tiempo calcular la relación de masa a la velocidad. Esta opinión de Hahn está perfectamente de acuerdo con las conclusiones experimentales de Gray que lo llevaron a concluir que un haz de rayos

Betha no es homogéneo, siempre que al atravesar la materia sufra una absorción que pueda expresarse por una ley exponencial.

La contraprueba de tales aserciones la encontramos en los experimentos de Wilson que demuestran claramente que una radiación *Betha* homogénea disminuye de velocidad al atravesar la materia de tal manera que su ley puede expresarse por una ecuación de la forma: $y = ax + b$.

Si Wilson ha dado la forma que debe tener la ley de absorción cuando esta se refiere a una radiación homogénea, Whieddington nos proporciona una fórmula, en concordancia con lo anterior, y que nos indica la variación de velocidad del electrón al atravesar la materia. El autor ha encontrado de una manera experimental que si un electrón negativo tiene una velocidad primitiva V_o esta velocidad V_o ha cambiado después de atravesar un espesor X de materia convirtiéndose en V_x estando expresada esta disminución por la ecuación:

$$V_o - V_x = ax.$$

En esta ecuación *a* tiene el valor de una constante que depende de la naturaleza de la materia atravesada por la radiación.

Para el aire a 76 c. de presión y a 15° C. *a* es igual a........ $2, \times 10^{40}$; para Al $7,32 \times 10^{42}$; para Au 2.54×10^{43}.

Aún cuando este autor había asegurado que ninguna relación existía entre la absorción de los rayos *Betha* y el peso atómico del cuerpo absorbente Schmidt ha demostrado últimamente que, si bien desaparecen en lo general las diferencias específicas de la materia para el fenómeno que nos ocupa, existen sin embargo, dos constantes que por ningún motivo son despreciables y de las cuales depende el poder absorbente de la substancia atravesada; estas constantes son, según la fórmula de Schmidt, el peso atómico y el número de átomos que forman la molécula. Los valores encontrados experimentalmente con un aparato especial concuerdan con los previstos por el cálculo sobre todo en lo que respecta a los líquidos.

Estos valores se refieren a rayos catódicos de mediano poder penetrante, es decir, son medias tomadas de series de experimentos, pero en multitud de ocasiones los números particulares de tal o cual experimento no concordarán con estos aquí asentados, basta ver los resultados obtenidos por Wilson para convencerse que la diferencia es grande aún tratándose de uno de los cuerpos mejor estudiados como el Aluminio; pero el desacuerdo se explica perfectamente, entre otras cosas, si recordamos los experimentos de Wehnelt que ha probado que, no

ya de un cuerpo a otro o de uno a otro tubo, sino que del mismo cátodo parten rayos *Betha* de diverso poder penetrante según se considere el centro de emisión o la periferia pues la velocidad de la radiación decrece a medida que su punto de partida se aproxima al limbo catódico.

Para Crowther la materia desempeña un papel, con relación a los rayos *Betha*, semejante al que tiene un prisma con relación a la luz, aunque guardando las distancias necesarias. De sus experimentos infiere Crowther que la radiación debe ser cónica. Llamando t al espesor de la substancia y k la constante angular del cono, la intensidad de la radiación emergente o dispersada, como la llama dicho autor, esta dada por la fórmula:

$$\frac{I}{I_0} = 1 - e^{-\frac{k}{t}}$$

Dada una velocidad del rayo *Betha* el ángulo más probable de emergencia de este rayo es proporcional a la raíz cuadrada del espesor de la substancia atravesada.

Los rayos *Betha* al encontrar una barrera material tienen dos destinos, unos, como acabamos de ver, pasan a través del obstáculo haciéndolo por los insterstieios inter–atómicos, otros chocan con el sistema atómico determinando fenómenos análogos a los que apuntamos a propósito de los rayos *Alpha*.

Por efecto de tal choque una buena parte de la radiación es aparentemente absorbida, esto es, no aparece en la cara opuesta, debiéndose esta falsa absorción a que el rayo *Betha* al chocar contra algunos de los elementos atómicos es desviado de su ruta siguiendo la resultante de las fuerzas concurrentes en el punto del choque.

El número de rayos *Betha* que no atravesarán determinada substancia puede calcularse aproximadamente teniendo en cuenta el peso atómico de la substancia por atravesar y multiplicando por tres.

Pero si el paso del rayo *Betha* se efectúa a través, no de una masa sólida, sino de una atmósfera gaseosa, del choque entre el rayo *Betha* y una molécula del gas, resulta la ruptura de la molécula, según Townsend, dividiéndose en partes positivas y negativas, constituyendo estas últimas los rayos *Betha* prima. Conociendo el número n de iones producidos por cada rayo *Betha* al describir un centímetro de su trayectoria, Blanc asegura que dicho número "es una función del campo x y de la presión p" existiendo entre estos elementos una función de la siguiente forma:

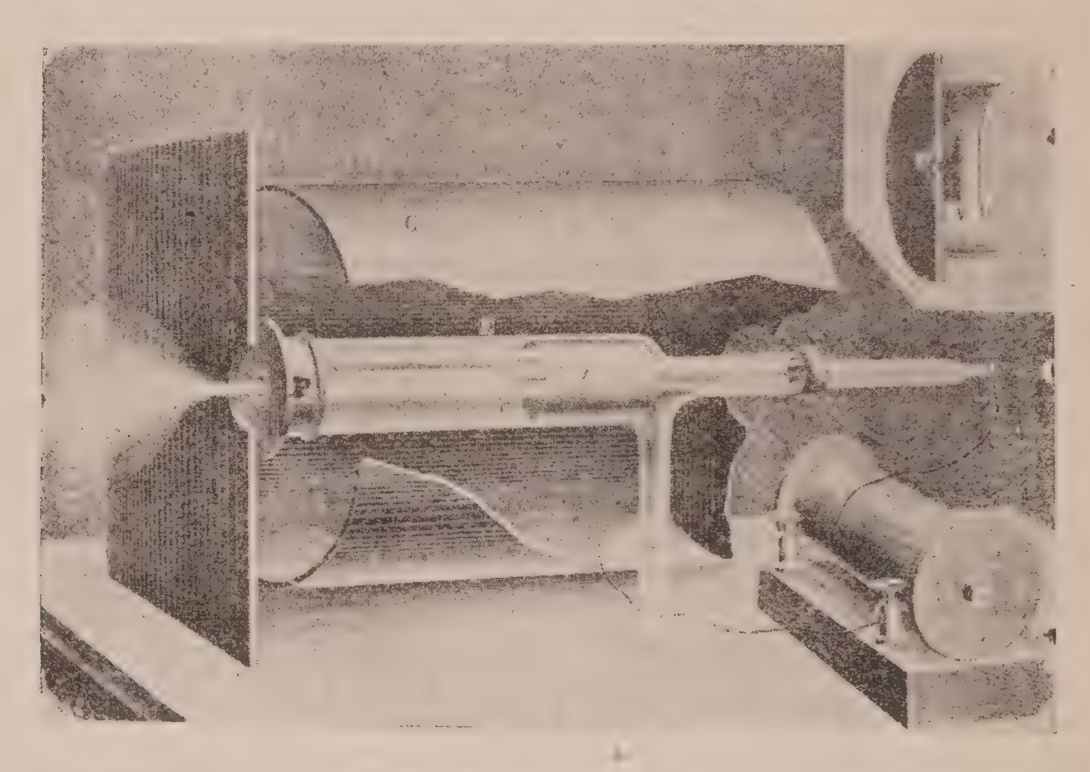
$$\frac{n}{p} = f\left(\frac{x}{p}\right)$$

Construyendo la curva representada por esta función es fácil deducir el número total de choques producido por un ión en un centímetro de su trayectoria.

Estas medidas constituyen, por otra parte, una comprobación de la identidad entre el rayo *Betha* y el rayo catódico.

El paso de los rayos catódicos a través del aire, tanto a la preción normal como a diversos grados de enrarecimiento, o bien en el seno de diversos gases puede estudiarse perfectamente con el aparato de Lenard que aunque antiguo ha quedado clásico.

La siguiente figura tomada de un trabajo de Guillaume, da una clara idea del dispositivo.

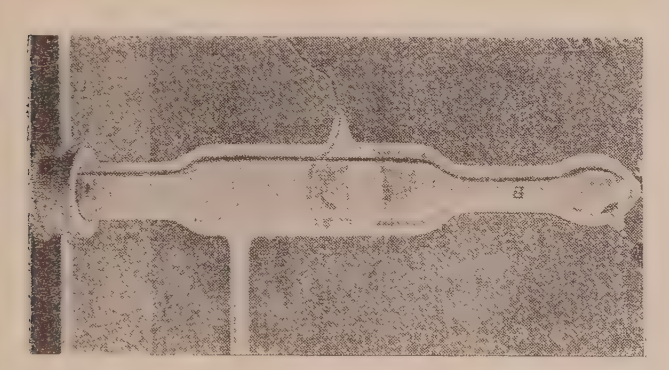


El cátodo (C) es de aluminio y ocupa el eje del tubo de vacío. El ánodo está formado por un cilindro de latón [A.] La parte P. es metálica y tiene una ventana de unos cinco milímetros de diámetro cubierta por una hojuela de aluminio de tres micras de espesor; con lo que basta para resistir la presión atmosférica.

En la figura se ha representado un haz catódico saliendo del tubo y difundiéndose en el aire.

Fácilmente se comprende que frente a esta ventana, cuyos detalles pueden verse en la figura pequeña del ángulo superior izquierdo del grabado, es fácil adaptar sea otro tubo de vacío más o menos avanzado que el de Lenard o bien un tubo también lleno del gas en cuyo seno se pretenda estudiar el efecto de los rayos *Betha*.

Si se desea estudiar como el haz catódico va modificándose a medida que el aire se enrarece y la fluorescencia, verdosa en la mayoría de veces, que determina al llegar a las paredes del tubo, no habrá sino adaptar a la armadura [P] un tubo semejante al que muestra el grabado adjunto y la observación será fácil de realizar.



Dispositivo que permite observar las modificaciones de los rayos en los gases enrarecidos

Sea i_0 la intensidad de los rayos en un medio no absorvente y a la distancia *l*. Si el medio es absorvente la intensidad *i* a la distancia *r* estará dada por la siguiente fórmula:

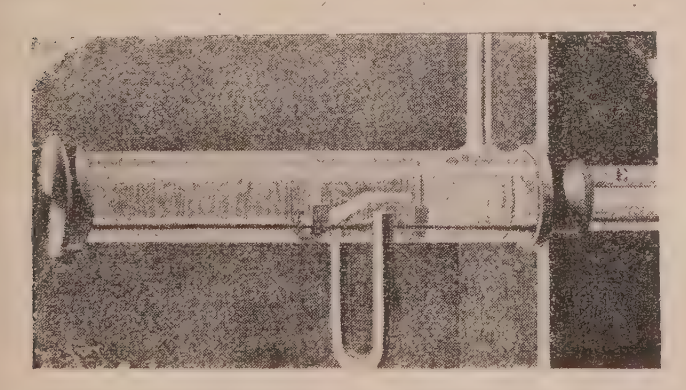
$$i = i_0 \frac{1}{r^2}^{-ar}$$

Lenard ha determinado la distancia R para la cual la intensidad I produce una luminosidad perceptible.

$$I = \frac{i_0}{R^2}$$ (*Gillaume. Les rayons X.*)

A propósito del paso de los rayos catódicos o *Betha* en el vacío debemos recordar los célebres experimentos de Crookes referentes a la sombra de la cruz, molinete eléctrico, etc. y que no detallo por ser demasiado conocidos y correr impresos en cualquiera elemental obra de Física.

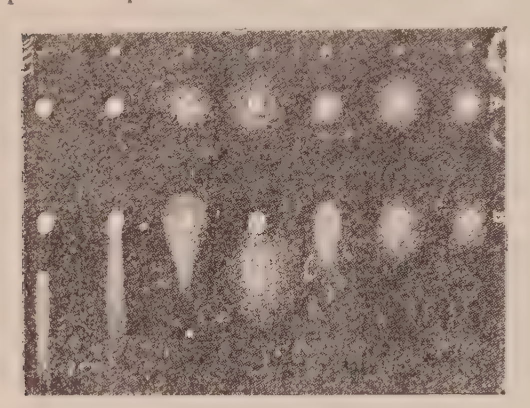
La acción del campo magnético se ejerce en modo poderoso sobre los rayos catódicos produciendo desviación idéntica a la observada por Schweidler, Mayer y Giesel para los rayos del Radio. Lenard, puso de manifiesto tal fenómeno empleando el siguiente dispositivo cuyo funcionamiento queda perfectamente comprendido con sólo ver el grabado.



Dispositivo Lenard que permite demostrar la acción del campo magnético sobre los rayos catódicos o *Betha*.

El efecto de la desviación se aprecia perfectamente en la serie B de la figura, sobre todo si se

compara con la serie A que representa la mancha luminosa de los rayos antes de sufrir la acción del campo magnético. En esta serie de pruebas se nota algo más que la acción de los rayos catódicos y que tendremos oportunidad de apreciar al hablar de los rayos *gamma*; pero que ni Lenard ni sus inmediatos continuadores mencionan porque aun no se conocían las radiaciones que después estudiaremos (1892.)



Desviación de los rayos estódicos o *Betha* por el campo magnético (Lenard) idéntica a la desviación observada por Becquerel (pg. 21.)

Si conocemos el valor C del campo y la carga e de cada corpúsculo, nada es más sencillo que encontrar la velocidad con que se mueve; en efecto, teniendo en cuenta lo que representan las magnitudes que acabamos de señalar es claro que la aceleración en el momento considerado será:

$$g = \frac{Ce}{m}$$

y la velocidad será, después de transcurrido un tiempo t

$$V = g\,t = \frac{Ce}{m}\,t;$$

el espacio estará dado por

$$d = \frac{1}{2}\,g\,t^2$$

de donde es muy fácil obtener la velocidad

$$V = \sqrt{\frac{2\,e}{m}\,C\,d}$$

Si tenemos en cuenta que C d no es otra cosa que la caída de potencial, llegamos a la fórmula de Kaufmann, establecida mediante experimentos que han sido de gran trascendencia como ya lo hemos visto al hablar de los rayos *Alpha*

$$\frac{1}{2}\,m\,V^2 = e\,P$$

J. J. Thomson mediante dos series de experimentos ha determinado las constantes de las ecuaciones que anteceden lle-

gando a resultados de gran precisión. En la primera serie de de sus experimentos encuentra:

32.000 kilómetros por segundo en el aire.
25.000 ,, ,, ,, ,, ,, Hidrógeno.

En la segunda serie ha aprovechado la desviación del haz catódico por el campo electrostático teniendo así los valores de V, e, y m.

Los valores dados por Wiechert, deducidos de sus elegantes experimentos, hacen llegar la velocidad hasta 50.400 k por segundo y la relación de *e* a *m* es de $1,55 \times 10^7$ Kaufman y Seitz les asignan 1.77×10^7 y Thomson 1.40×10^7.

Experimentos posteriores asignan a la velocidad de los electrones 99% de la velocidad de la luz. Starke y Hupka creen que sea de 150.000 k. p. s. Es indudable que cada una de las cifras anteriores es correcta y las variaciones dependen tan sólo de haber sido ejecutadas con rayos *Betha* de diversa calidad.

Los rayos *Betha* al atravesar una masa gaseosa determinan fenómenos iguales a los que producen los rayos *Alpha* y que por lo mismo solo damos los resultados pues los métodos de experimentación y razón de ellos son idénticos. Así Kleeman ha medido la ionización producida por los rayos *Betha* o catódicos encontrando las cifras siguientes:

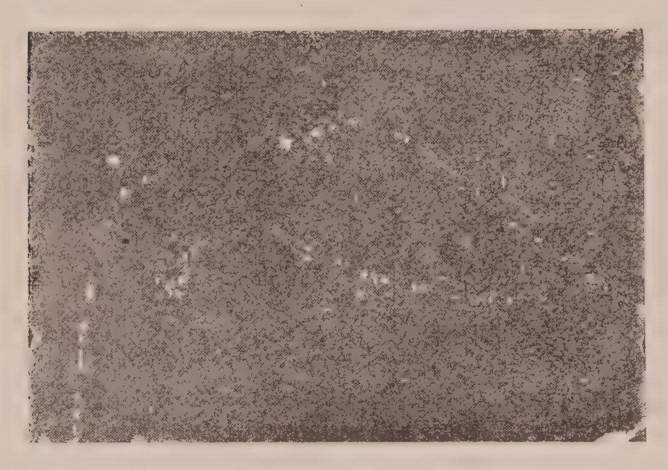
Aire	1.00.
Anhídrico carbónico	1.08.
Eter sulfúrico	1.23.
Pentano	1.31.
Benzeno	1.20.
Cloruro de etilo	1.33.
Cloroformo	1.34.
etc.	

La observación de Helmholtz relativa a la condensación del vapor de agua por la electricidad volvió a ser aplicada por Wilson mediante el aparato que ya conocemos, obteniendo los mismos notables resultados, según puede apreciarse en la fotografía adjunta, producida por el paso de rayos *Betha* en la cámara de ionización.

Desde luego puede apreciarse la diferencia en número con relación a los rayos *Alpha*. En efecto es común que la radiación *Alpha* sea mucho más abundante que la *Betha*. En el Radio la radiación *Betha* forma solamente el 1% de la emisión total mientras que la *Alpha* constituye el 99%. Sin embargo,

Wartburg ha llegado a aislar un producto que, como el Torio, solo emite rayos *Betha*.

La numeración de las partículas *Betha* puede hacerse, no sólo por el procedimiento que acabamos de describir sino también por el de Rutherford y Geiger, para lo cual basta con cambiar el signo de la electrización tanto de la aguja como de la pared del revelador de corpúsculos de Geiger.



Huellas dejadas por el paso de rayos *Betha* en la cámara de ionización del aparato de Wilson.

La fotografía puede igualmente grabar el efecto producido sobre la aguja del electrómetro indicador.

El gran poder penetrante y actínico de los rayos *Betha* hace que esta radiación sea capaz de producir fotografías a través de cuerpos opacos aproximando sus efectos a los que producen los rayos X, aunque en menor escala que estos últimos.

Righi ha demostrado que de la chispa eléctrica se pueden extraer rayos catódicos o *Betha* y cuando se emplea un dispositivo como el que ha usado Le Bon para reproducir sobre la placa fotográfica la silueta y aún los detalles de monedas de dos francos, son estos rayos *Betha* los que determinan la impresión sobre la placa sensible.

En el experimento de Le Bon quizá se produjo un efecto análogo al que señala Kleeman para los rayos *Alpha* pues de otro modo sería difícil de explicar la producción de los detalles de las monedas en la forma en que se presentan en la prueba.

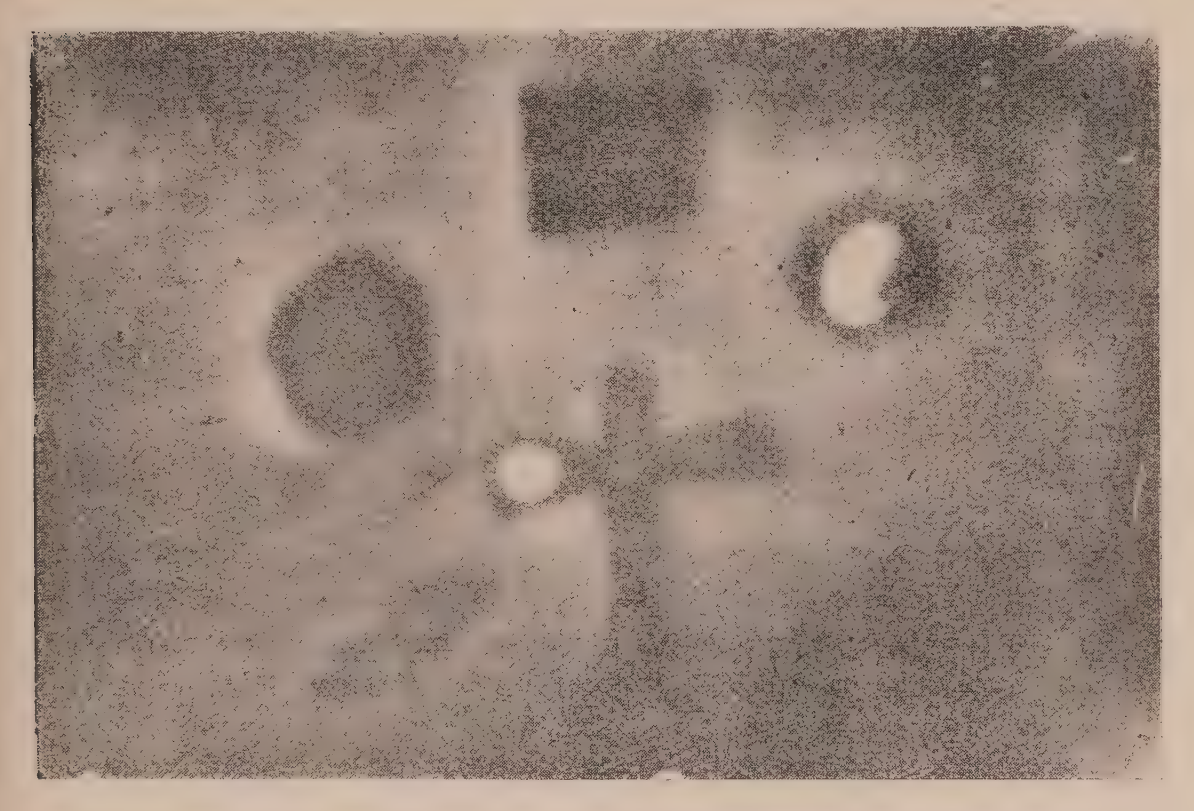


Efectos de los rayos *Betha* en el aparato de Rotherford y Geiger.

Nosotros, empleando la radiación *Betha* del Ph en oxidación, hemos podido fotografiar las figuras de papel de estaño que se ve en el grabado efectuando esta prueba a través de ocho hojas de papel negro.

No terminaremos este capítulo sin recordar la polémica que durante tanto tiempo agitó a los sabios alemanes e ingleses. Crookes sosteniendo su interpretación del bombardeo y Goldstein, Lenard y Wiedemann primero y después otros sabios de no menos renombre combatiendo tal aserto. Hoy el

problema está resuelto merced al experimentum crucis de Perrin y no hay por qué perder el tiempo en tales discusiones. Del electrón negativo se conoce a la perfección su carga electrostática, su masa, su velocidad y aún se ha llegado a calcular su diámetro. Sus efectos son tangibles y esto constituye una de las conquistas más hermosas de la ciencia moderna.



Fotografía de figuras de papel de estaño obtenida a través de ocho hojas de papel negro, empleando los rayos *Betha* producidos durante la oxidación de nuestro Ph. (Dr. M. Pérez Amador.)

LOS RAYOS GAMMA

Imposible es tratar de los rayos X sin recordar la clásica memoria presentada por Röntgen en la Sociedad de Física y Medicina de Würtzbourg y la impresión experimentada, no sólo en la docta asociación, sino en el mundo entero, al conocer el hecho que pareció estupendo e incomprensible, aún al mismo Röntgen que llamó a su descubrimiento Rayos X.

Pero si rendimos culto al sabio alemán no debemos dejar en olvido al sabio francés Le Bon cuyos experimentos le conducían al mismo fin aunque tropezando con la oposición de sus compatriotas desarrollada por un espíritu que desgraciadamente entre nosotros alcanza manifestaciones mayores por que nuestro nivel intelectual está un poco más abajo que el medio europeo.

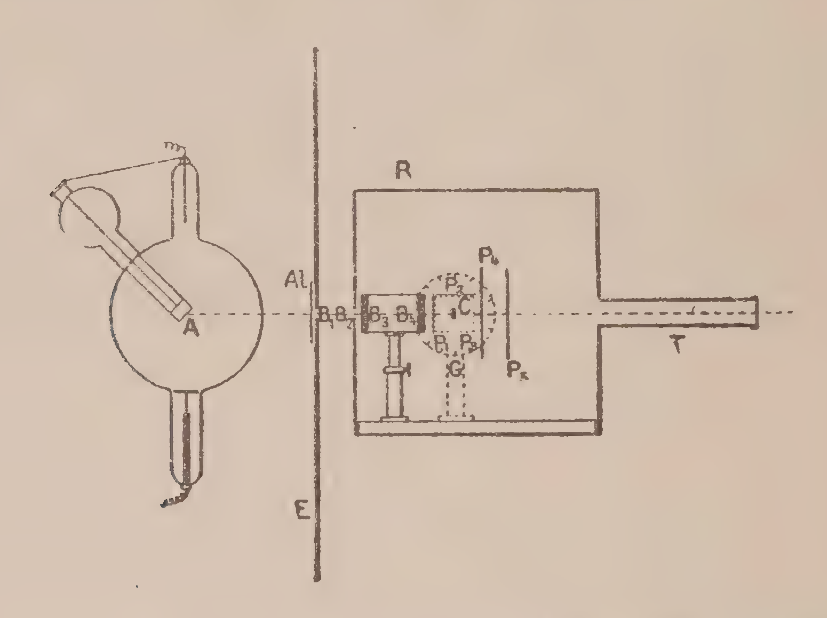
El misterio pareció rodear, en un principio, esta manifestación de la energía. Diversas hipótesis aparecieron para explicar el fenómeno, más ninguna satisfizo todas las exigencias.

Sin embargo, la naturaleza vibratoria de la radiación se imponía a pesar de la opinión de físicos eminentes, entre los cuales figuró Sutherland como iniciador de la hipótesis materialista del fenómeno.

Más o menos importantes, pero no decisivos, fueron los experimentos de Imbert, Œpinus, Battelli, Garbasso, etc. a quienes debemos considerar como los precursores de los modernos trabajos que después referiremos.

Wind y Haga pudieron observar un principio de difracción lo mismo que Sommerfiel; pero solo después de bien comprobada la estructura Bravais de los cristales fué posible a Knipping Laue y Friedrich presentar una prueba irrecusable de la naturaleza ondulatoria de los rayos X.

El dispositivo usado por estos autores para sus estudios es el que muestra el siguiente esquema:

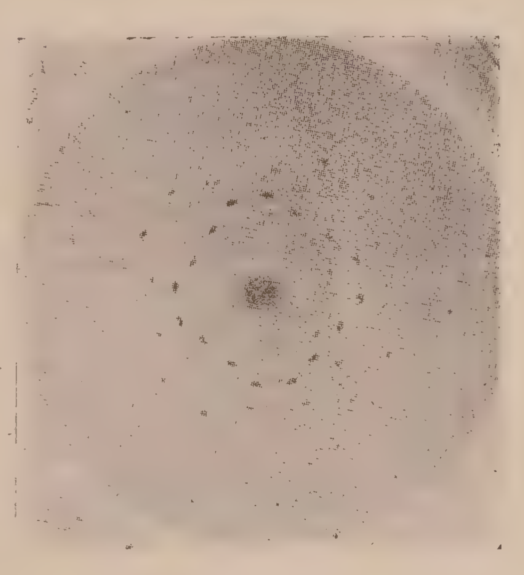


Un tubo de rayos X emitiendo radiaciones ultrapenetrantes que parten del anticátodo A y pasan a través de las pantallas B1, B2, B3, B4.

La última está hecha de plomo y de tal manera que el eje de la perforación coincida con el eje del anteojo T. La lámina cristalina C. se fija sobre un pirómetro G. Las placas fotográficas P......... rodean el cristal registrando la distribución de los rayos que emite. Todo el dispositivo queda encerrado en una caja R. y protegido por una gran pantalla E.

Si la lámina cristalina está formada por un cubo de 0.5 m. m. de espesor de blenda de zinc el experimento da sobre la placa una serie de impresiones como la que muestra la figura ad-

junta, en la cual puede verse una mancha central formada por el pincel principal de radiaciones X y rodeada por una serie de manchas elípticas simétricas debidas a los haces secundarios de rayos emergentes del cristal de blenda de zinc.

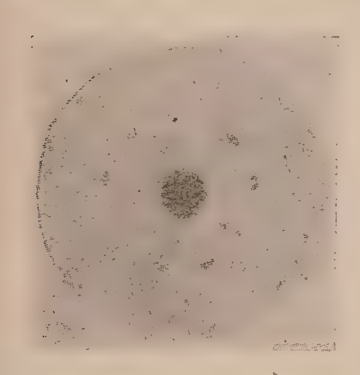


Eje cuaternario

Si examinamos detenidamente la figura se descubre inmediatamente el carácter cuaternario del eje de simetría

Si el corte de la lámina de blenda de zinc se hace paralelo a la cara del hoctaedro o sea perpendicularmente a un eje ternario, la figura grabada sobre la placa cambia notablemente apareciendo entonces la característica de dicho eje representada por tres pares de manchas simétricamente colocadas a 120° unas de otras.

Los experimentos eran concluyentes sin embargo Laue no se detuvo aquí y siguió sus estudios teóricos calculando cual debería ser la longitud de onda y, de acuerdo con esto, el reparto que deberían tener las manchas elípticas. Para lo primero encontró que la longitud de la ondulación sería del orden de 10^{-9} y para un eje cristalino cuaternario cuyas moléculas distarán 10^{-8} la teoría asignaba la siguiente colocación.

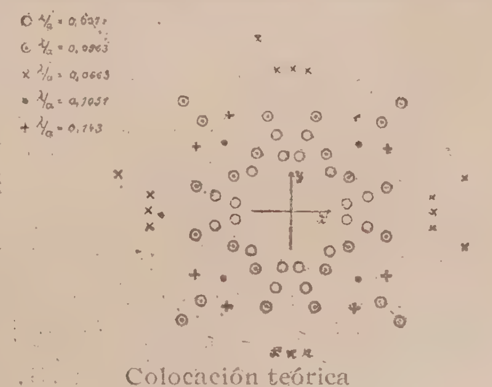


Eje ternario

Comparando esta figura con la siguiente puede observarse la casi concordancia, lo que constituye una prueba evidente de la teoría ondulatoria hecha tangible mediante las interferencias. La pequeña discrepancia de dos puntos es imputable a un error cualquiera de técnica.

Posteriormente los Bragg (X raids and cristal structure) abordaron el problema desde otro punto de vista más sencillo pero que los condujo al mismo resultado, esto es, a la demostración del movimiento vibratorio del Eter como causa de los rayos X.

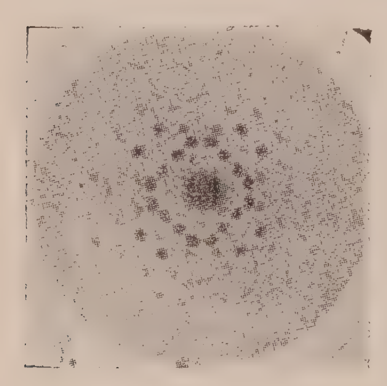
Simultáneamente y de manera independiente Moseley y Darwin llegaban al mismo resultado



Colocación teórica

que los Bragg empleando un dispositivo un tanto cuanto distinto.

El espectrómetro de Bragg consta de un colimador con pantallas adecuadas para aislar un haz de rayos que se dirige a la cara de un cristal movible sobre un plano circular giratorio; el rayo emergente penetra en una cámara de ionización unida en un electroscopio.



Resultado práctico

El aparato de Moseley y Darwin es más perfecto y permite hacer medidas comparativas gracias a dos condensadores que posee. Sobre el primero obran los rayos directos y sobre el segundo los rayos emergentes del cristal.

Los Bragg midieron en la sal gema la distancia de dos planos reticulares pudiendo así calcular la longitud de onda, la que encontraron ligeramente inferior a la calculada por Laue.

Otra prueba de la naturaleza ondulataria de los rayos X es dada por la concordancia que se obtiene entre los cálculos hechos con los números que da el experimento y los que se tienen fundándose en la teoría de Planck.

Por ejemplo, si tratamos de medir la cantidad de energía necesaria para excitar la radiación K del Pt encontramos que es igual a

$$1{,}78 \times 10^{-8} \text{ erg}$$

Aplicando la regla de Widdington se obtiene: 2×10^{-8}.

La semejanza de resultados es halagadora.

Puesto que incidentalmente hemos tratado de la radiación K debemos recordar que significa esta radiación.

Barkla observó que si un haz de rayos X caé sobre un metal, este emite a su vez rayos X, menos penetrantes que los primitivos, pero de composición homogénea, variable de un metal a otro pero siempre igual para un metal dado. A esa radiación la llamó Barkla *rayos característicos*. Algunos metales emiten dos radiaciones caracteríctícas y entonces se designa la más penetrante con la letra K y la de menor poder con el símbolo L.

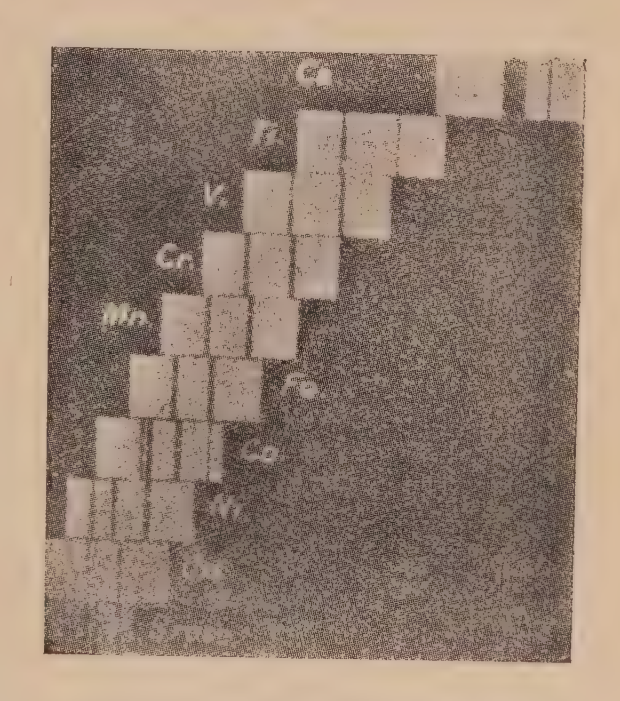
Moseley, aplicando el procedimiento espectrográfico ya descrito y usando cristales de ferrocianuro de potasio obtuvo el espectro de la radiación característica K de una serie de metales y llegando como resultado de sus experimentos a la expresión de lo que llamó el número atómico y cuyo significativo y alcance no podemos detallar por lo reducido de esta obra que será de mera vulgarización.

Los rayos X no sólo gozan de esta propiedad descrita por Moseley sino que además originan otros fenómenos semejantes a los que hemos apuntado a propósito de los rayos *Alpha* y *Betha*.

En efecto, al pasar por una masa gaseosa determinan la ruptura de los átomos dividiéndolos en un ion positivo y un electrón negativo o sea produciendo la ionización de dicho gas.

Este efecto, como se recordará, sirvió a Wilson para efectuar sus experimentos sobre iones y electrones en su dispositivo especial.

Consecuencia de la ionización es la descarga de los cuerpos electrizados cuando estos se encuentran frente a un haz de rayos X. Thomson (J. J.) estudió el fenómeno sometiendo un electroscopio de hojas de oro a la influencia de los rayos X. Benoist y Hurmuzeuscu substituyeron el electroscopio común por un electrómetro de agujas, lo que les permitió experimentar de una manera más precisa y extender su estudio hasta los dieléctricos.



Espectros de diversos metales obtenidos con rayos X por Moseley.

Esta propiedad de descargar los cuerpos electrizados es verdadera de una manera general; pero experimentos que llevamos a cabo en compañía de mi amigo y preparador el Dr. Ramírez nos demostraron que el fenómeno es doble. Por una parte los rayos X determinan la descarga de que venimos hablando; mas al mismo tiempo son capaces de producir una considerable carga cuando se toman las precauciones que voy a enumerar.

Si tomamos un electroscopio común de hojas de oro y lo ponemos a unos cincuenta centimetros de distancia de un tubo de rayos X y colocamos la mano a muy corta distancia del platillo de manera que pueda saltar una pequeña chispa y en estas condiciones lanzamos un haz de radiaciones X cuya duración sea de 1|5 de segundo el electroscopio adquiere una considerable carga.

Quitando ahora la mano y haciendo funcionar nuevamente el tubo de rayos X el electroscopio se descarga tanto más rápidamente cuanto más próximo esté el origen de las radiaciones.

El experimento presenta algunas dificultades pues es muy difícil encontrar la distancia apropiada para la chispa que ha de saltar entre la mano y el platillo del electroscopio y también tiene gran influencia la duración que se da a la producción de radiaciones pues si se prolonga un poco el aparato se descarga. Por otra parte, ocupado en el estudio de otros problemas, no he tenido tiempo para fijar las condiciones del fenómeno que nada tienen de extraño pues se explica perfectamente teniendo en cuenta la acción disociante de los rayos X.

Con mi modelo de electroscopio el fenómeno se observa con suma facilidad.

Cuando los rayos X encuentran en su camino substancias susceptibles de fosforescencia o fluorescencia excitan estos fenómenos de una manera selectiva, así Bouguet y Gascard han comprobado que los diamantes verdaderos son atravesados más fácilmente que las imitaciones y Le Bon, observando la desigual fosforescencia que adquiere el diamante, ha podido hasta decir el origen de diversas muestras de esta gema que tenía en su estudio comprobando que son más luminosos los que proceden del Brasil. El tono de la coloración también varía según el origen de esta piedra preciosa.

El platino-cianuro de bario, el vidrio, diversos sulfuros, etc. adquieren distintas iluminaciones cuando se les sujeta a la acción de los rayos X. La fluorescencia del vidrio no desaparece en el mismo momento en que cesan los rayos X sino que se prolonga un poco más como puede comprobarse observando una ámpula de Crookes en acción.

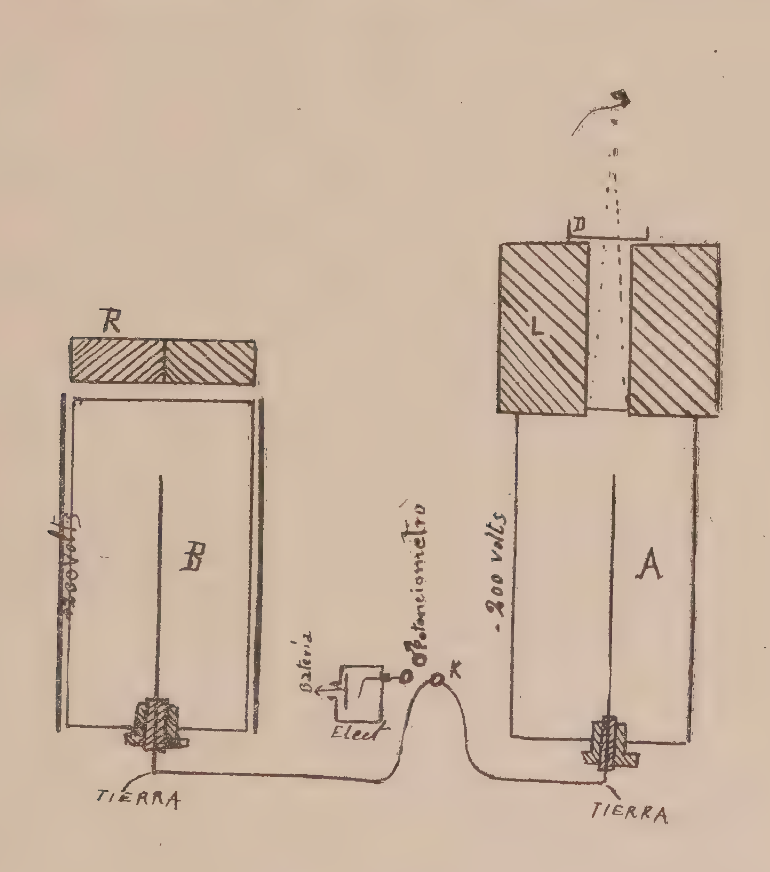
El vidrio puede adquirir una coloración violada cuando permanece mucho tiempo bajo la acción de los rayos X. La Kunzita toma un color verde. Iguales coloraciones se producen si en vez de exponerlos a los rayos X se colocan bajo la acción de los rayos *Gamma*; el topacio incoloro toma una coloración anaranjada el cuarzo transparente se ennegrece, las sales alcalinas pueden tomar coloraciones violeta, azul o verde, etc. según lo han demostrado Meyer y Przybran. Si la substancia expuesta es el espato fluor la coloración es azul y además se vuelven termoluminiscentes a más baja temperatura que antes de ser expuestas a los rayos.

La identidad entre los rayos *Gamma* y los rayos X queda probada por las medidas y experimentos realizados por Rutherford y Andrade, que en último resultado no son otra cosa que los llevados a cabo por Bragg sólo que efectuados con el Radio en vez de usar el tubo de Crookes.

Perkyns refiere sus experimentos sobre la reflexión de los rayos *Gamma* de la siguiente manera: un delgado cristalizador de vidrio D contiene los cristales sobre los cuales se hará la in-

vestigación colocando todo sobre una gruesa lámina de plomo L. Los rayos pasan a través del cristal y de una delgada perforación de 1, 2 ctms. de diámetro atravesando finalmente una delgada hoja de aluminio antes de penetrar en la cámara de ionización A. La cámara de balance B también recibe rayos a través de üna delgada hoja de plomo R. Las cámaras A y B se llevan a 200 y — 200 voltios respectivamente. El aparato de medida es un electroscopio Wilson.

Mediante este dispositivo, más algunos otros detalles secundarios el autor ha demostrado la reflexión de los rayos *Gam-*



ma por los cristales. Estos experimentos es necesario repetirlos por circunstancias que fácil es comprender.

Los rayos *Gamma* lo mismo que los rayos X gozan de la propiedad de atravesar los cuerpos que para la luz son opacos produciendo las tan vulgarizadas radiografías que por lo mismo no entro a detallar pues pocas serán las personas que en la actualidad no hayan visto una radiografía o que no sepan como se obtienen sean con los rayos X o con el Radio o algún otro cuerpo radioactivo, como más adelante veremos.

LA EMANACION

Es la "Emanación" producto muy complejo que, a decir verdad, no está aún del todo individualizado y si bien es cierto que presenta caracteres comparables, no siempre es idéntica a sí misma variando sus constantes con su origen.

J. J. Thomson afirma que la Emanación puede extraerse de la mayor parte de los cuerpos de la Naturaleza y dice que la producen no sólo aquellos elementos que comunmente se clasifican entre los más enérgicamente radioactivos, sino que hasta el agua, la arena, etc. son susceptibles de proporcionarla.

Rutherford, de una manera inexplicable, confunde la Emanación con el Helio y asegura que se ha demostrado la identidad de ambos; pero como veremos más adelante, los caracteres de la Emanación no son los del Helio.

Para extraer la Emanación de los cuerpos radioactivos pueden seguirse dos caminos, o bien se eleva la temperatura del cuerpo cuya emanación se trata de aislar o bien se disuelve dicho cuerpo en el agua siendo en esta forma como se obtiene mejor resultado pues el desprendimiento puede llegar a ser cien veces superior al que se produce en estado sólido y a la temperatura ordinaria. El carbón de nuez de coco la absorve muy rápidamente a la temperatura ambiente.

Si la Emanación se guarda en un tubo cerrado, de paredes delgadas, estas adquieren cierta iluminación notándose que a poca distancia exterior de dichas paredes el sulfuro de zinc fosforescente presenta notablemente el fenómeno espintariscópico que señalamos al hablar de los rayos *Alpha*, lo que prueba que del tubo se escapan, a través de las paredes, radiaciones capaces de producir tal fenómeno. Estas radiaciones están constituidas, en un principio, por rayos *Alpha*; pero más tarde aparecen rayos *Betha* y finalmente vibraciones *Gamma* terminando por quedar el tubo enteramente vacío. (Le Bon.)

Llama la atención que siendo Rutherford quien mejor ha estudiado la Emanación la confunda con el Helio y que su confusión llegue hasta decir en su "Constitution of Matter" lo siguiente: "............se sabe, por otras investigaciones, que las partículas *Alpha* no son sino átomos cargados del raro gas Helio".

Cuando en un tubo cerrado se coloca Helio, éste permanece en el tubo indefinidamente y jamás desaparece, como sucede con la Emanación, que tiene una efímera vida, según Soddy no

mayor de 5,57 días, al cabo de los cuales sí está aislada del Radio; por ejemplo, ha desaparecido transtormada en radiaciones *Gamma*, o ha producido, si no está aislada, Radio A.

Es un hecho que en la vecindad de las paredes del tubo conteniendo Emanación es más fácil que en otro lugar poner de manifiesto la presencia de Helio mediante sus rayas espectoscópicas; pero de aquí no se infieren que los rayos *alpha* en que se está convirtiendo la Emanación sean Helio, como a nadie se le ha ocurrido que esté formada por ozono no obstante que también es fácil ver las rayas de su espectro en la atmósfera que rodea al tubo de Emanación o al Radio mismo.

Difícil es darse cuenta de como se reparten las cargas eléctricas en La Emanación pues aun cuando ésta haya lanzado al exterior iones positivos el resto no queda electrizado negativamente, como lo ha probado Mc. Clelland, lo que no acontece en el Radio donde sí es posible comprobar una electrización del recipiente que lo contiene.

La Emanación se condensa a - 150 grados si proviene del Radio variando un tanto este punto con el orígen de ella, lo que demuestra (como lo dije al principio de este capítulo) su poca homogeneidad global; no así cuando se la extrae siempre del mismo producto, pues en este caso la oscilación es insignificante. La condensación se revela por aumento de la fosforescencia en la zona correspondiente.

Observada al microscopio presenta aspectos muy interesantes: al estado líquido es incolora; pero no bien se solidifica principia por tener tan intensos reflejos que Soddy la ha comparado con un pequeño arco eléctrico. Si la temperatura desciende adquiere una coloración azulada con tintes acerados y si el grado térmico desciende aun más, se presenta con un vivo color anaranjado

El espectro de la Emanación tiene gran semejanza con el que presenta el Xenon y para formar una familia se ha propuesto, aunque sin lograrlo hasta hoy afortunadamente, que se la denomine Niton.

Si fuésemos a tratar en particular de las emanaciones del Torio o del Radio o del Actinio mucho habría que decir de cada una de ellas que se individualiza por su vida, su peso atómico, su derivado, etc., etc.; pero en una obra general es imposible descender a las especialidades que son siempre motivo de monografías.

SEGUNDA PARTE

EL APARATO CLASICO PARA ESTUDIOS DE RADIOACTIVIDAD

NUEVA TEORIA SOBRE SU FUNCIONAMIENTO

> Una idea vaga, obscura, falsa si se quiere.......vale mil veces más que el espacio infinito plagado de infinitos soles......y que todas las masas planetarias con sus vertiginosas velocidades y sus inconmensurables fuerzas; en cuanto a las masas y los soles no pueden pensar y en cuanto es fatal e inineteligente la fuerza que los impele.
>
> ECHEGARAY.
>
> (Teorías Modernas de la Física.)

INTRODUCCION

Muchos años han transcurrido desde que por primera vez lancé la idea de la no conductividad del aire e intenté explicar los fenómenos que se observan bajo la acción de los cuerpos radioactivos por un mecanismo enteramente diverso del que aceptó de momento la Ciencia oficial. Afortunadamente he visto comprobada mi manera de ver y ya solamente una que otra obra expone la antigua interpretación y eso mas parece por un espíritu conservador de las tradiciones que por convección científica.

La primera idea que vino al espíritu de los observadores fué, la que a primera vista pareció más sencilla aunque en el fondo fuese la más complicada. Si un cuerpo electrizado perdía su carga frente a un cuerpo radioactivo lo que pareció más fácil fué imaginar que el aire se había hecho conductor de la electricidad y por él se había marchado la carga eléctrica.

Esta idea puede verse en todas las obras de aquellos primeros años y aún continúa arraigada en algunos espíritus que no han podido seguir la corriente evolutiva.

El culto espíritu de Pierre Curie, no obstante que él fué uno de los que contribuyeron a establecer la falsa hipótesis de la conductividad del aire y aún presentó experimentos que tendían a probar su primitivo aserto, más tarde volvió sobre sus pasos y ya en uno de los capítulos de su obra sobre radioactividad acepta a medias que la pérdida de carga de los cuerpos electrizados se debe a neutralización de electricidades aunque atribuye la neutralización a los iones de las moléculas neutras disociadas y prescinde de las radiaciones del cuerpo que originó la disociación de las moléculas del aire o gas que rodea al cuerpo electrizado. Esta interpretación, mediante la cual casi acepta mi teoría, deja aun mucho que desear pues no podría explicar la descarga en el aire enrarecido ni tampoco la descarga a través de cuerpos opacos y aun aisladores como el vidrio.

Sin embargo, ante la evidencia, ante la fuerza de los experimentos y la sencillez de interpretación de mi teoría, forzoso ha sido que acepten estas ideas aunque no hayan nacido en Europa ni se hayan engendrado en los flamantes laboratorios del viejo Mundo sino en nuestras humildes salas de experimentación.

En esto, como en otras cosas, quizá de las que aquí mismo presento sea necesario repetir las palabras de Perrier (1) "todo hombre que cree aportar una idea nueva al tesoro de la humanidad se ve inmediatamente asaltado por una multitud de reclamaciones de una pléyade de pseudoprecursores a quienes sólo les ha faltado, para asegurar el reinado de su pensamiento, el talento de hacerlo vivir".

LA TEORIA ORTODOXA

En efecto las cosas pasan como *si el aire se hubiese vuelto conductor* de la electricidad. Cuando al electrocopio cargado se le presenta un cuerpo radioactivo, las ojuelas de oro se aproximan en un tiempo más o menos grande según la potencia del cuerpo radiante.

De aquí se infiere que el aparato ha perdido su carga. Mas ¿por qué mecanismo?

En la "Revue Scientifique" de 13 de febrero de 1904 Curie Dice: ".......el aire sujeto a la acción de los rayos del Radio, se vuelve conductor de la electricidad y puede dar paso a corrientes que, poco intensas para obrar sobre un galvanómetro, aun muy sensible, podrán ser medidas con suma facilidad con ayuda de un electrómetro o un electroscopio".

---

(1) Perrier.—La philosophie zoologique avant Darwin.

Gustavo Le Bon dice en la "Evolución de la Materia": "......el autor (Rutherford) ha comprobado como yo, que el aire se vuelve conductor de la electricidad".

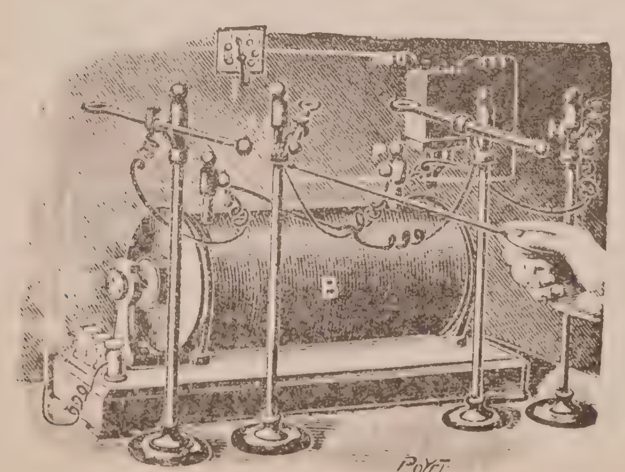
Más adelante, en la parte experimental de su obra dice: "......si partículas conductoras, iones o lectrones, son emitidas por un cuerpo X el aire se vuelve conductor......y el electroscopio se descarga". En la página 333 de la obra ya citada (ed. 1908) puede verse el experimento clásico con que pretendían demostrar la conductividad del aire, experimento que aparece también en La Nature de 1900 y que estudiaremos dentro de breves momentos.

En la "Revue Scientifique" del 10 de Abril de 1909, además de encontrar la repetición de las palabras de Pierre Curie encontramos lo siguiente: «Las medidas de conductividad del aire bajo la influencia de los rayos ionisantes lo han hecho (al electroscopio) tan indispensable como el galvanómetro.»

Y para no citar más autores pues con lo dicho queda probada la idea dominante recordaré que Soddy, el eminente colaborador de Ramsay dice en las páginas 1 y 2 de su obra: (La química de los elementos radioactivos:) « .....las nuevas radiaciones ionizan, como los rayos X, el aire y los otros gases haciendo de ellos, temporalmente, conductores parciales de la electricidad lo que les permite descargar, por ejemplo, un electroscopio de hojas de oro......»

La obra de Soddy está publicada en 1915.

Por todo lo que antecede se ve con claridad indiscutible que, a los rayos emitidos por los cuerpos radioactivos, se les ha atribuido la singular propiedad de transformar el aire de manera tan radical que pueda desempeñar el mismo papel que desempeñara un hilo o mejor todavía, un block metálico que uniese el platillo del electroscopio con el suelo, receptáculo común de la electricidad, lo que es contrario a toda experiencia que demuestra la imposibilidad de electrización de los gases.


Experimento de Curie

Para demostrar la conductividad del aire Curie tomaba un carrete de Rumhkorf y de cada polo del inducido sacaba dos hilos que como se ve en la figura terminaban en dos cortaduras explosivas M y M', la distancia de las esferas terminales se graduaba de tal manera que por ambas cortaduras pasase simultáneamente la

chispa inducida. En estas condiciones se aproximaba a una de las cortaduras del circuito inducido un fragmento de Radio observándose entonces que la chispa se suprimía en la otra cortadura del circuito.

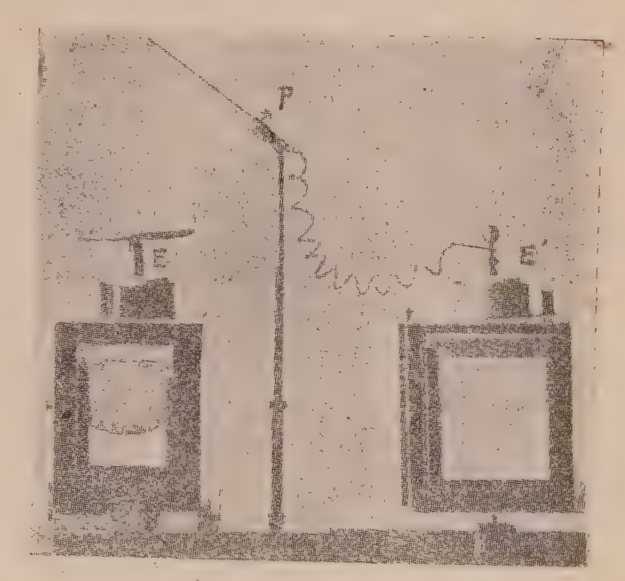
El experimento se interpretaba diciendo que como el aire se había hecho conductor en presencia del Radio por ese sitio la corriente pasaba con mayor facilidad y en tal virtud cesaba de pasar en la otra porción del circuito.

Por si el anterior experimento no fuese suficientemente probante se ideó el siguiente mucho más convincente y que Le Bon acepta en su obra como indiscutiblemente demostrativo de la conductividad del aire.

Se toman dos electroscopios como lo enseña la figura adjunta.

Llamemos E y E' los electroscopios y P la placa productora de efluvios radioactivos.

E' comunica mediante un conductor con la placa metálica P que se encuentra colocada á corta distancia del platillo del primer electroscopio E y perfectamente aislada entre tabletas de azufre y cristal.



Experimento de Le Bon

En estas condiciones cargamos el electroscopio E y hacemos incidir sobre la placa P un haz solar, ya sea directamente o sirviéndonos de un hilióstato.

Después de un momento se observa que el electroscopio cargado se descarga bajo la acción de las radiaciones *Alpha* emitidas por la placa y al mismo tiempo el electroscopio E' se carga. «Las cosas suceden como si ambos electroscopios estuviesen ligados por un hilo.» (Le Bon, loc cit. pág. 333. ed...... 1908.)

Este experimento parece probar claramente la conductividad del aire. En efecto, si el segundo electroscopio se electrizó ¿de donde y cómo ha venido esta electricidad? La electricidad, contestan, ha venido del primer electroscopio, ahí la hemos almacenado, y se ha trasladado al segundo eloctroscopio a través del aire que media entre el platillo del electroscopio primero y la placa radiante, después siguiendo el conductor metálico, ha llegado hasta las hojuelas del segundo electroscopio y ha producido la divergencia de estas hojuelas.

Este es el camino que forzosamente tiene que haber seguido

la electricidad y tal ruta sólo puede seguirla a condición de que el aire que media entre la placa y el platillo se haya tornado en conductor para desempeñar el mismo oficio de un «hilo metálico» tendido entre estas dos partes antes separadas.

OBJECIONES

No ha mucho tiempo que Luciano Poincaré decía en una de sus obras: «......casi no existen ya esas grandes teorías universalmente admitidas y alrededor de las cuales, de común acuerdo, venían a agruparse los experimentadores todos; la Anarquía reina en los dominios de las ciencias naturales; todas las audacias se consienten y ninguna ley parece rigurosamente necesaria...... Presenciamos en estos momentos más bien un trabajo de demolición que una obra de reconstrucción......»

No, no es la anarquía la que reina en las ciencias naturales; es que la Ciencia, como los pueblos evoluciona. Se concede ya la libertad del pensamiento y la libertad de expresión. Si la Matemática, la Ciencia por excelencia, admite y aún prescribe la discusión, ¿por qué en ciencias de experimentación hemos de estar obligados a creer lo que un autor nos dice, sólo por que ese autor tiene reputación de sabio? ¿es acaso por esto infalible? ¡Cuantos ejemplos de fiascos bochornosos debidos al magister dixit podríamos citar! La Academia de Ciencias de París concedió a Blondlodt, Físico de renombre, el premio de...... 50,000 francos por su admirable descubrimiento de los rayos N; pero he aquí que sobre viene la duda acerca de la existencia de rayos tan maravillosos y la Academia ya no cree a Blondlot bajo su palabra de sabio; quiere repetir los experimentos y ¡oh desencanto!, los rayos N, sólo existían en la imaginación de Blondlot y sólo habían sido vistos dice Foveau de Courmelles en su psicología de los rayos N, citando a M. Pieron, «en Nancy y por los de Nancy.»

Becquerel, con numerosos experimentos, pretendía haber demostrado que los rayos producidos por el uranio se reflejaban, se refractaban y se polarizaban. Casi todos los sabios de entonces, confiando en el renombre de quien aquellos fenómenos demostraba, escribían memorias explicando también, ampliando a las veces, las razones en virtud de las cuales aquellos hechos se verificaban y asentaron que era forzoso y necesario que las cosas sucediesen de esa manera. Pero el tiempo transcurre y el insigne Gustavo Le Bon demuestra hasta la evidencia que los rayos del uranio no se reflejan, ni se polarizan, ni se refractan, en pocas palabras, que no son luz. Todos los sabios

guardaron silencio, y Becquerel necesitó tres años para confesar su error.

Larguísima sería la enumeración que con este motivo podríamos hacer, pero volvamos al experimento clásico que pretende demostrar la conductividad del aire y analicémosle detenidamente.

El experimento muestra: que cuando el electroscopio E se ha ha descargado, el E' se ha cargado. Si nos fijamos detenidamente en el dispositivo y en el mecanismo por el cual explican el fenómeno, desde luego se ocurre esta objeción: Si el aire desempeña el papel de conductor entre la placa P y el platillo del electroscopio ¿por qué la electricidad no se reparte entre ambos electroscopios proporcionalmente a la capacidad de éstos? lo que estaría de acuerdo con una ley muy conocida de electricidad.

Supongamos, para mejor comprensión, que ambos electroscopios tienen igual capacidad eléctrica. Al comenzar el experimento el electroscopio E' está en el potencial O, E tiene un potencial P. Principia el experimento y el potencial de E' comienza a elevarse mientras el potencial de E desciende. Llegará un momento en que forzosamente el potencial E' será igual a ½ p esto tendrá lugar cuando E tenga también ½ p por potencial.

A partir de este instante el potencial de E' no puede aumentar; si aumentase, se produciría una corriente en sentido inverso, asto es de E' a E, puesto que la electricidad se precipita siempre del punto en que su tensión es mayor hacia aquel en que la tensión es menor, y el equilibrio se restableceria. Es el mismo caso de dos recipientes, uno de ellos lleno de agua, y vacío el otro, que los hiciesemos comunicar por sus partes inferiores mediante una cañería; o con más propiedad, es la misma situación de dos cuerpos de desigual temperatura colocados a corta distancia el uno del otro y entre los cuales tiende a establecerse el equilibrio móvil de temperatura; llega un momento en que alcanzan temperaturas iguales porque tanto calor reciben como irradian. Este último ejemplo es perfectamente aplicable porque aquí, como en el caso de los electroscopios, hay pérdidas laterales.

Esto que el raciocinio nos da, lo confirma el experimento: Si tomamos dos electroscopios, uno cargado, descargado el otro y los unimos con hilo metálico, veremos que la carga eléctrica se reparte entre ambos proporcionalmente a sus capacidades.

Esto mismo debería acontecer en el clásico experimento sobre el cual reposa la teoría de la conductividad del aire.

Otra objeción podemos presentar: la placa P desempeña dos funciones, primera: cuerpo productor de emisiones radioactivas y segunda: receptor de la corriente.

Más tarde veremos como de este doble papel de la placa metálica depende la interpretación errónea del experimento.

No es lo que antecede lo único que podemos aducir en contra de la teoría de la conductividad del aire; vamos a citar observaciones y experimentos que han pasado casi inadvertidos en su significación para sus autores que se han limitado a presentar los hechos sin juzgar de sus alcances, o mirándolos como acontecimientos secundarios y sin importancia.

Estas observaciones no se refieren ya directamente al experimento que antes analizamos, pero sí vienen en apoyo de nuestras ideas.

En "L' Année Flectrique" de 907 encontramos lo siguiente; "..........si entre los dos polos de una máquina de Winshurst, colocados a la distancia explosiva, interponemos Radium, la chispa se suprime; quizá se forme una corriente obscura o susceptible de medida". Si, es posible que esta corriente obscura se forme; más el único hecho positivo que observamos es que la chispa no salta cuando se aproxima a los polos de la máquina una substancia radioactiva, lo mismo que en el experimento de Curie ya citado.

¿Por qué se suprime la chispa?

Ya lo explicaremos más tarde, por ahora observemos que el aire no se ha hecho conductor bajo la influencia de los efluvios radioactivos por que si tal cosa hubiese sucedido, la chispa, en lugar de extinguirse, saltaría con más facilidad o se habría convertido en una verdadera cinta de fuego extendida entre los polos de la máquina. Esto último acontece cuando se disminuye la resistencia del aire acortando los eléctrodos en su distancia explosiva, lo que equivale a haber hecho el aire un poco más conductor, pues conductividad y minimun de resistencia son sinónimos, al mismo tiempo que se suprimen los condensadores o cuando se aumenta considerablemente el potencial como en la instalación de Tesla.

"L' Année Electrique" de 1905 nos muestra en la página 104, una tabla de gasto eléctrico debido a la radioactividad de las fuentes termales. En esta tabla podemos ver como para un mismo punto la pérdida de carga varía en magnitud según el signo de la electricidad comunicada a los cuerpos en general o a los electroscopios en particular. Ahora bien ¿existen conductores especiales para la electricidad según que esta sea positiva o negativa? No, la corriente eléctrica positiva o negativa, circula siempre con igual velocidad en un conductor de resistencia determinada. (Ley Ohm).

El aire, hecho conductor por los efluvios radioactivos, habrá adquirido una nueva resistencia R, a esta resistencia R, corresponderá una velocidad V de propagación para la co-

rriente que por él circule. Esta velocidad V es la misma para una resistencia dada, cualquiera que sea el signo de la corriente, así lo demuestra la Física. Si observamos diferencias en la velocidad de descarga, tendremos que admitir forzosamente variaciones en la resistencia R. Para que R varie es necesario que la causa de R varie también; pero la causa de R es la cantidad de efluvios radioactivos emitida en la unidad de tiempo y esta cantidad es constante para un cuerpo dado. Luego si R no puede variar tampoco variará la velocidad de descarga; por lo tanto, es inexplicable por la teoría de la conductividad del aire.

La preferencia, pudieramos decir, que tienen ciertos cuerpos radioactivos por determinada carga eléctrica; la influencia de la luz en el gasto negativo de Hertz de los cuerpos electrizados, etc. etc. y que no detallo por ser fenómenos demasiado conocidos, son otros tantos arietes que se lanzan implacables contra el ya vacilante edificio de la Teoría que discutimos

Si hasta aquí el raciocinio ha predominado, va a ser ahora la experimentación quien traerá nuevas luces en apoyo de mis ideas.

Antes de continuar hay que exclarecer lo siguiente: rechazar la teoría de la conductividad del aire *no es impugnar la ionización de este mismo fluido*. Aunque hasta hoy se hayan confundido, por lo general, estos dos hechos son, sin embargo, cosas distintas.

La conductividad no necesito explicarla. La ionización, en radioactividad, significa disociación del átomo y por ende producción de rayos *Alpha Betha* y *Gamma*. Por consecuencia, cada átomo de los componentes del aire producirá sus rayos *Alpha Betha* o *Gamma*, o los tres simultáneamente que influirán también en la descarga de los cuerpos electrizados, más no ayudarán a disminuir ni un ápice la resistencia del aire.

NUEVOS EXPERIMENTOS

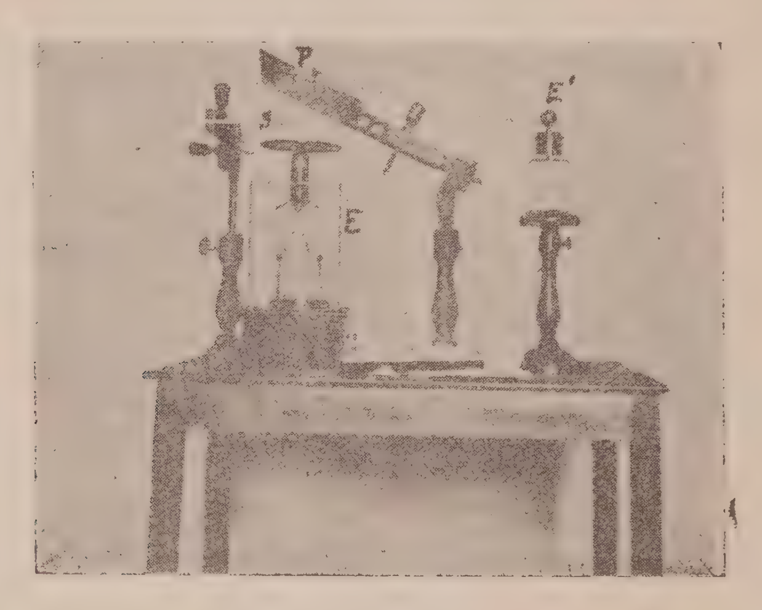
Uno de los cánones que la Lógica prescribe para la buena experimentación, base de la inducción, es variar convenientemente las condiciones en que un fenómeno se realiza, con objeto de descubrir las relaciones de causa y efecto o los factores que modifican el resultado.

Variemos entonces convenientemente las condiciones del experimento con que demostraban la conductividad del aire.

Coloquemos un electroscopio E cargado, un electroscopio E' descargado en comunicación con una placa metálica P perfectamente aislada del soporte que la sostiene mediante tabletas de azufre y en el centro del espacio que media entre la pla-

ca P y el platillo del electroscopio E coloquemos la substancia radioactiva que va a transformar el aire en conductor.

El receptáculo S de la materia radioactiva se encuentra sostenido por una varilla de cristal y para mayor seguridad esta varilla está aislada del soporte que la sostiene mediante tabletas de azufre. El receptáculo S lo cubrimos con una solución de N O^3 Ur en eter sulfúrico; cuando el eter se ha evaporado deja una ténue capa de N O^3 Ur compuesto de considerable poder radioactivo que proyecta "corpúsculos" en todas direcciones y que por consecuencia forma al rededor de S una esfera en la cual el aire, según la teoría ortodoxa, se transformará en conductor de la electricidad. Si colocamos a S en el lugar antes indicado, es decir, en el centro del espacio comprendido entre P y E, la pantalla P y el platillo del electroscopio E vendrán a limitar la zona conductora de que antes hablamos.



Experimento del autor

Unidos así el electroscopio y la placa, la carga eléctrica de E debe pasar a E'.

No se puede objetar que la varilla que sostiene el cuerpo radiante al introducirse en el aire conductor sirva de intermediaria para que la carga de E se pierda en el suelo antes de alcanzar la placa P porque esta varilla además de ser de vidrio, cuerpo aislador, está aislada por azufre; está por consecuencia doblemente aislada.

Si la teoría de la conductividad del aire fuese exacta la electricidad pasaría de E a E', y quizá con facilidad mayor puesto que el aire comprendido entre la placa P y el platillo E, sería un conductor de resistencia mucho más uniforme, en este caso, puesto que la causa de su conductividad se encuentra en

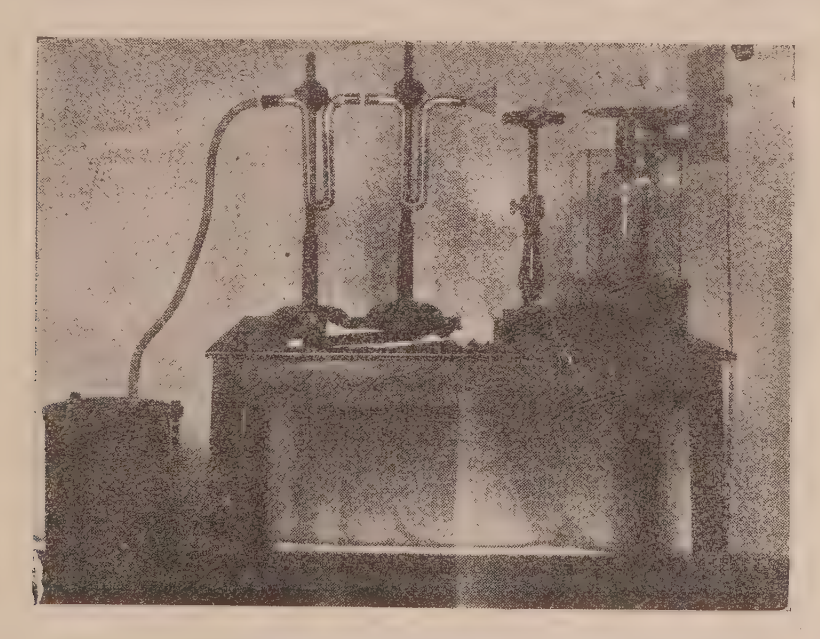
el centro y no en una de sus extremidades como en el experimento clásico ya apuntado.

I.—Pero.......... la electricidad no pasa; E se descarga, y E' permanece imperturbable, con sus ojuelas de oro unidas y sin presentar el más ligero signo de electrización.

II.—Si, estando E perfectamente descargado, electrizamos el electroscopio E' este se descarga a su vez; pero en E no podemos revelar la más pequeña cantidad de electricidad.

III.—Si a ambos electroscopios comunicamos cargas iguales en cantidad y en signo, ambos electroscopios se descargan, y esta descarga se realiza en igual tiempo para los dos.

IV.—Si cargamos uno de los electroscopios positiva y el otro negativamente observamos que: un centígramo de materia radioactiva colocada en S a 45 centímetros de distancia de la placa P y a esta misma distancia del platillo E, produce, teniendo cada electroscopio un potencial de 2,000 voltios, en el electroscopio cargado positivamente 30° se descargan en



Experimento del autor

75 segundos de tiempo, los 30 grados del electroscopio cargado negativamente se anulan en solo 50 segundos.

Resumiendo:

Cuando un electroscopio está descargado, y el otro cargado éste se descarga; *pero el primero no se carga.*

Cuando tienen cargas iguales en magnitud y signo *ambos se descargan en tiempos iguales.*

Cuando tienen cargas que difieren en signo *se descargan pero en tiempos desiguales.*

Aunque estos experimentos prueban hasta la evidencia la poca o ninguna exactitud de la teoría de la conductividad del

aire, presentaré algo más para terminar con la parte de demolición y principiar la obra de reconstrucción.

Sirviéndonos de un dispositivo como el que muestra la figura de la página anterior hagamos llegar una suave corriente de aire perfectamente seco al platillo de un electroscopio cargado.

Esta corriente de aire no descarga el aparato. Una vez comprobado que el aire no produce descarga alguna, coloquemos en S esto es, entre el primer tubo desecador y el electroscopio, una substancia radioactiva, cuidando que esta substancia no sea volátil, ni produzca abundante "emanación", factores que determinarían un fracaso en el experimento. En estas condiciones hagamos que nuevamente la corriente de aire pase con lentitud primero por la zona radiante S, después bañe el platillo del electroscopio y por último que venga a chocar contra la placa P ligada a tierra. Esta corriente de aire la mantenemos durante 15 minutos por lo menos.

Si el aire se tornase realmente conductor de la electricidad en virtud de los efluvios radioactivos, al pasar sobre S adquiriría esta propiedad y, continuando después su marcha, iría a ligar, "como un hilo metálico", el platillo del electroscopio y la placa metálica unida a tierra, con lo cual quedaría finalmente en comunicación con el suelo. El electroscopio debería descargarse y la descarga sería rápida. Mas no es así, *el electroscopio permanece cargado indefinidamente.* Luego el aire no se ha modificado, su resistencia no ha variado, en suma, no se ha hecho conductor de la electricidad.

Finalmente, si bajo la campana de la máquina neumática colocamos un electroscopio convenientemente dispuesto veremos que aunque el aire se lleve al máximun de enrarecimiento el aparato se descarga a condición que se alcance fácilmente por los rayos de la fuente radioactiva.

Si el electroscopio se ha descargado en el vacío claro está que no ha sido por el aire hecho conductor por los efluvios radioactivos.

Más tarde volveremos sobre éste último experimento que presenta algunas particularidades muy dignas de más amplio estudio.

LA NUEVA TEORIA.

Ante la elocuencia de los experimentos narrados no podemos seguir aceptando que sea el aire el medio por donde la electricidad marcha para abandonar los cuerpos sobre los cuales se había acumulado.

Es un principio de antaño conocido que los gases no son susceptibles de electrización y que por más tiempo que permanezcan en contacto con un cuerpo electrizado jamás toman la más pequeña carga; sólo el hidrógeno preparado por la descomposición del $S O^4 H^2$ mediante el Zn puede presentar principios de electrización y esto debido a un comienzo de disociación.

Sería por ende muy extraño que el aire se sustrajese a la ley general y que adquiriese propiedades incompatibles con su naturaleza.

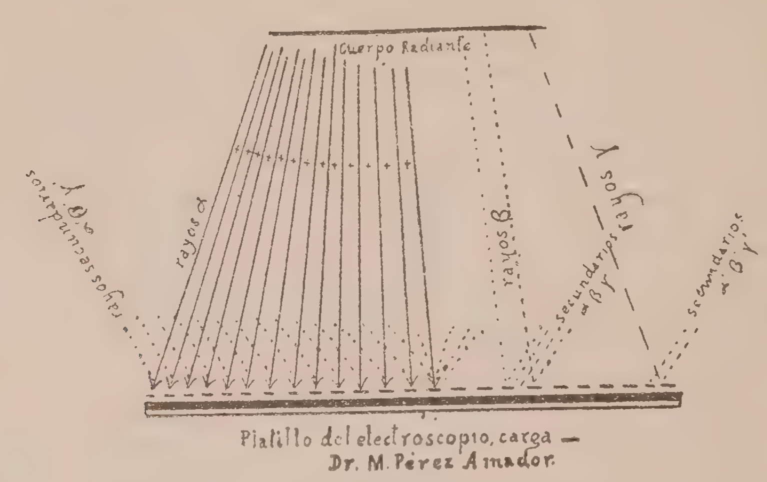
Si el aire no es el vehículo que la electricidad emplea para marcharse de los sitios que ocupa ¿por qué medio, pues, la electricidad desaparece? ¿cómo, y de qué manera se hace inapreciable para los instrumentos reveladores de ella?

La electricidad comunicada al electroscopio, y en general a cualquiera cuerpo, no los abandona, bajo la acción de la radioactividad, siguiendo tal o cual conductor, sino que la *carga eléctrica es ahí mismo neutralizada* por los rayos del cuerpo radioactivo que como recordamos no son otra cosa que *átomos de electricidad* de uno u otro signo según sean alpha o betha los nombres que le correspondan.

Recordemos algo que por elemental pasa inadvertido y fijémosnos que un cuerpo cargado de electricidad no es otra cosa que un cuerpo cubierto por electrones, positivos o negativos, según el caso, dependiendo la cantidad de electricidad y el potencial del número mayor o menor de electrones contenidos en cada unidad de superficie, o quizá con más propiedad, en cada cubo construído sobre cada unidad de superficie.

Pues bien si sobre un cuerpo cubierto de electrones negativos, o lo que es igual, electrizado negativamente, hacemos caer una lluvia de iones positivos, o sean rayos "alpha" que como dijimos al principio, son electrones positivos rodeados de partículas neutras, sucederá conforme a una conocidísima y elemental ley de electricidad, que éstos átomos de electricidades de nombre contrario, se atraerán y al ponerse en íntimo contacto, se neutralizarán.

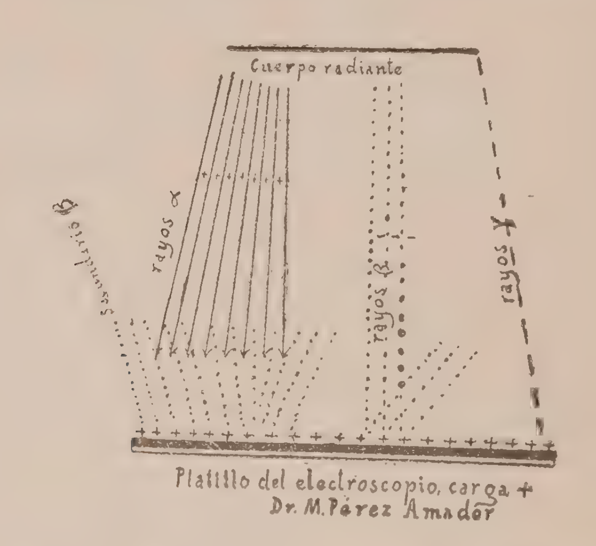
La carga Negativa de un cuerpo electrizado (el electroscopio por ejemplo) *es neutralizada átomo por átomo por los rayos "alpha" emitidos por los cuerpos radioactivos.* (esquema número 1).



Rayo α +; Electrización —; Resultado = 0. El fenómeno lo completan los rayos + α' β.

Esquema 1..

La carga Positiva de un cuerpo electrizado (el electroscopio) *es neutralizada átomo por átomo por los rayos "Betha" emitido por los cuerpos radioactivos.* (esquema número 2).



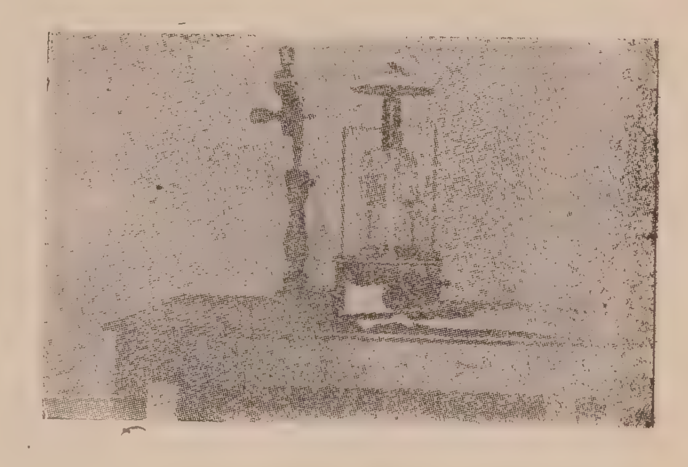
Rayos β —; Rayos β' —; Electrización +; Resultado = 0

Esquema 2.

Tal es, según mi opinión, la causa por la cual el electroscopio (y cualquier cuerpo electrizado) se descarga bajo la acción de las substancias radioactivas. La electricidad no se marcha del electroscopio, si no que es ahí mismo neutralizada.

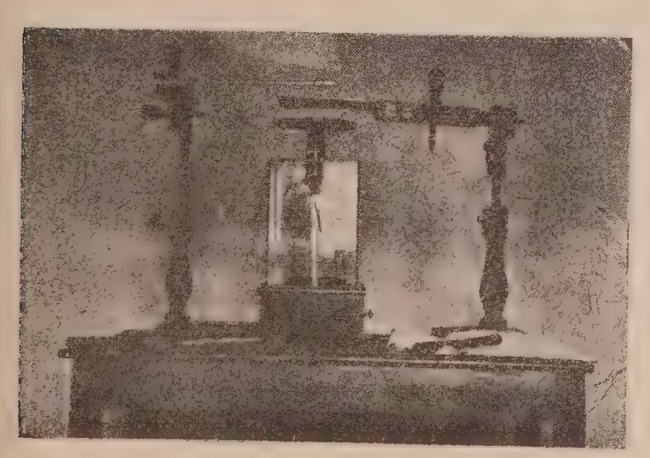
La descarga del electroscopio no es tan sencilla como la hemos presentado. La hemos reducido a su esencia para que fuese mejor comprendida; pero si tenemos en cuenta que cada uno de los rayos "alpha", "betha" y "gamma", al chocar contra un cuerpo, dan nacimiento a nuevas radiaciones llamadas secundarias que se designan con las letras siguientes *alpha, betha* y *gamma* primas se comprenderá fácilmente que el fenómeno se complica un tanto con la intervención de tales rayos secundarios que también prestan su contingente para la realización de los hechos.

Rápidamente vamos a pasar en revista algunos hechos para ver si están de acuerdo con la nueva teoría y a explicar después todo lo que nos sirvió para derribar el antiguo edificio de la conductividad del aire.



Volvamos a recordar la calidad de los rayos *alpha* y *betha* y recordemos tambien que por cada 100 rayos *alpha* hay de 1 a 6 rayos *betha* según la substancia radioactiva que se considere. En el Radio la proporción es de 1 a 100, en el Fósforo en oxidación es de 5 a 100.

Según lo que acabamos de decir, se infiere que de ser cierta la teoría de la neutralización, debe existir una marcada diferencia en la velocidad de descarga del electroscopio según que sobre él caigan rayos *alpha* o radiaciones *betha.*



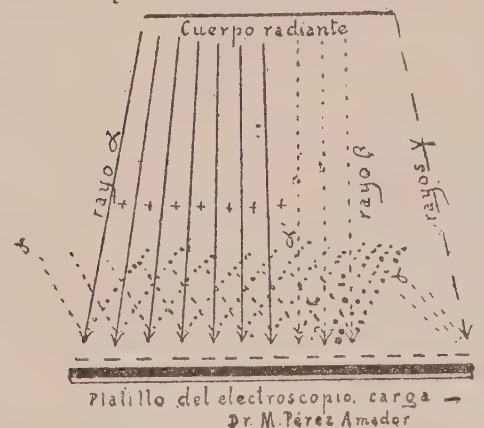
Presentaremos los datos que el experimento proporciona. Si a 25 milímetros de altura sobre el platillo del electroscopio colocamos sostenido por una barra de cristal, un centigramo de nuestro Ph radioactivo se observa lo siguiente: cargado el colectroscopio negativamente pierde 30 grados en 30 segundos.

II. Si entre el Ph y el platillo se interpone una gran pantalla de cristal o simplemente una hoja de papel grueso, (fig. II) los treinta grados se anulan en 9 minutos si la carga del elec-

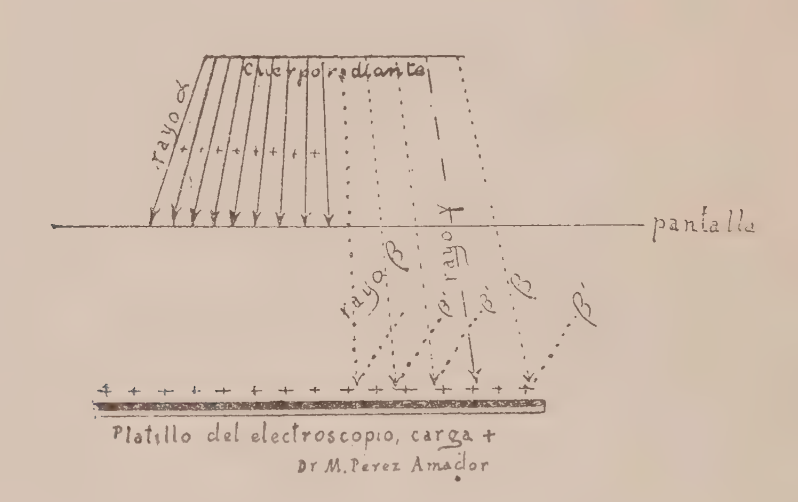
troscopio es positiva; si la carga es negativa es necesario aguardar *una hora y media* para obtener la descarga de 30 grados.

IV.—Cuando la carga del electroscopio es positiva y no se interpone pantalla, 30 grados se descargan en 45 segundos.

Estos resultados confirman la teoría que hemos sentado. En el primer caso obran sobre el electroscopio, cargado negativamente, los rayos *alpha* que son numerosísimos, y a ellos se agrega todavía el efecto de los rayos secundarios *Alpha*, *Betha* y *Gamma* primas. La descarga se realiza con gran rapidez (30 grados en 30 segundos) (fig. semiesquemática 1).



En el caso del segundo experimento todas las radiaciones *alpha* son detenidas por la pantalla; al platillo del electroscopio sólo pueden llegar los rayos *betha* y *gamma*. Estos últimos no influyen directamente porque no llevan carga eléctrica; pero los rayos *betha* que son átomos de electricidad negativa, sí podrán neutralizar la carga del electroscopio. (fig. semiesquemática II).

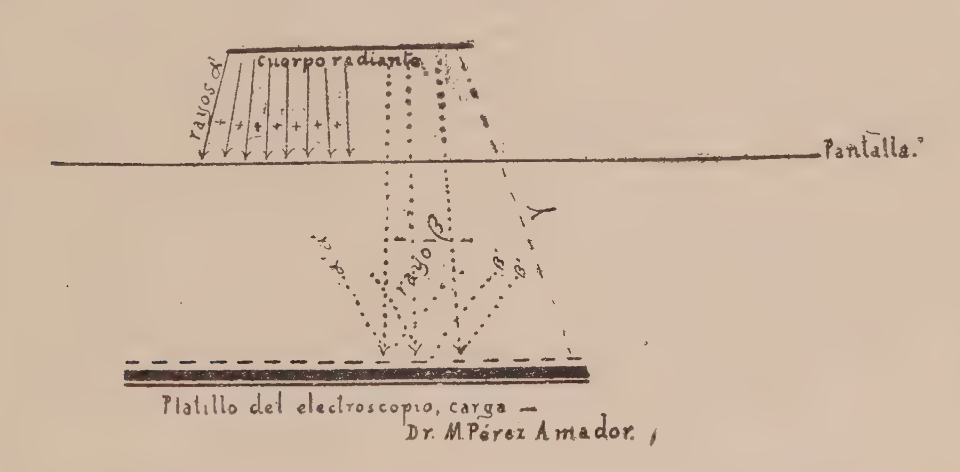


Ahora bien, el Phen oxidación produce, por cada 100 rayos *alpha* CINCO rayos *betha* [determinados conforme al procedimiento de Thomson] luego la descarga por estos rayos tendrá que ser más lenta que la descarga producida por los rayos *alpha*. Así es en efecto, mientras en el primer caso solo tarda el electroscopio 30 segundos en descargarse, en este segundo caso ha necesitado 540 segundos.

Si mediante la sencilla fórmula $v = \frac{d.\ e}{d.\ t}$ calculamos la ve-

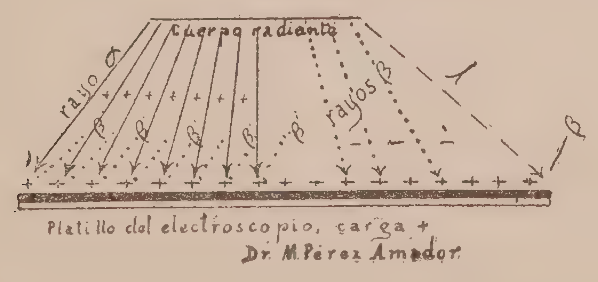
locidad de caída de las hojuelas de oro del electroscopio, tanto en un caso como en otro, veremos que están en la misma relación que los rayos *alpha* y *betha*, esto es, como 5 es a 100.

III. Electroscopio cargado negativamente y el platillo cubierto con pantalla. En este caso parecería que ninguna variación debía observarse en la carga del aparato puesto que siendo los rayos *betha* electrones del mismo signo que la carga comunicada al electroscopio no puede haber neutralización. Pero si recordamos que los rayos *betha* y *gamma* al chocar contra un objeto metálico (el mismo platillo del electroscopio en este caso, dan origen a rayos secundarios, podremos prever fácilmente que en este caso debe efectuarse una descarga lenta originada por los iones secundarios. Así es en efecto, y ya dijimos que el electroscopio emplea 5400 segundos o sea hora y media en descargarse. [fig. semiesquemática 3.]



IV. Electroscopio cargado positivamente. No hay pantalla interpuesta.

La descarga se realiza en 45 segundos y se debe y a los rayos *betha* directamente, y a los rayos secundarios, o sean *betha* prima producidos por *alpha* y *gamma* (fig. semiesquemática 4.)



Esquema 6.

LA NUEVA TEORIA Y LOS EXPERIMENTOS SOBRE LA PRETENDIDA CONDUCTIVIDAD DEL AIRE

La teoría que acabamos de exponer, no sólo es la traducción más verosímil y sencilla de los hechos; no sólo explica satisfactoriamente todos los puntos que la antigua teoría de la conductividad del aire deja en el misterio, sino que es capaz de darnos clara explicación de gran número de observaciones hasta hoy solamente apuntadas por los experimentadores.

Explicaremos con esta nueva teoría los hechos que nos sirvieron para combatir la teoría de la conductividad; además, para probar sus ventajas, presentaremos la explicación de algunos hechos nuevos, y para no hacer este artículo demasiado extenso, citaremos únicamente los siguientes: Pérdida de carga bajo la influencia de la luz (Hertz) cuando la electrización es negativa.—Influencia de la materia de los electródos en la descarga del electroscopio.—Por que el electroscopio, en presencia de ciertos cuerpos radioactivos, sólo se descarga cuando está electrizado positivamente, etc. Pero antes de explicar estos hechos, veamos por qué en el experimento con que pretendieron demostrar la conductividad del aire una de los electroscopios se descarga mientras se carga el otro.

Recordaremos, para esto, dos cosas: una ley fundamental de electricidad y el doble papel que desempeña en ese experimento la placa metálica P.

La ley a que me refiero es la siguiente: Nunca es posible engendrar una cantidad de electricidad positiva, sin que no surja inmediatamente otra cantidad igual de electricidad negativa y recíprocamente.

Un cuerpo en estado neutro contiene igual cantidad de electricidad positiva y negativa esto es, los electrones negativos están exactamente neutralizados por los positivos.

Si por un artificio cualquiera (frotamiento, elevación de temperatura, etc.,) separamos de ese cuerpo, aunque sea un solo electron, positivo por ejemplo, el otro electron negativo, que neutralizaba al positivo que separamos, queda en el cuerpo y este se muestra entonces, electrizado negativamente.

En el experimento a que estamos haciendo referencia, la luz que hiere la placa metálica, y especialmente los rayos ultravioleta que contiene, producen la separación de los electrones.

Los electrones positivos son proyectados fuera de la placa, se rodean de partículas neutras y forman así el ion positivo, el rayo *alpha*. De los electrones negativos, que son, según la ley citada, forzosamente iguales en número a los positivos que fueron expulsados, salen de placa unos cuantos, apenas salen 6 como máximo por cada 100 electrones positivos; por consiguiente quedan, teóricamente, 94 electrones negativos, (suponiendo que sólo 100 átomos fuesen privados de sus electrones periféricos y que hubiesen sufrido un principio de disociación) que electrizan la placa negativamente (puesto que la placa está aislada y la electricidad no ha podido pasar a tierra.) Esta electricidad generada en la placa misma, propagándose por el mismo hilo que la une con el electroscopio E' va a determinar la divergencia de las hojuelas de éste.

Como se ve, la mala interpretación del experimento dependió de la doble misión que la placa desempeñó.

La electricidad del primer electroscopio es neutralizada por los efluvios de la placa.

La electricidad que aparece en el segundo electroscopio proviene de la transformación de la energía luminosa.

EXPERIMENTO DE LA MAQUINA DE WIMSHURST Y EL RADIUM.

Para que salte la chispa eléctrica de uno a otro de los conductores, es necesario que la cantidad de electrones acumulada en uno de los polos sea considerable para que adquiera tensión suficiente para vencer la resistencia del aire. Esta acumulación no puede verificarse en presencia de un cuerpo de gran poder radioactivo como el Radio por que emitiendo este cuerpo un verdadero torrente de rayos *alpha*, *betha* y *gamma* (de mil millones a un billón por segundo) a medida que sobre los conductores vayan apareciendo los electrones estos irán siendo neutralizados por los rayos del Radium. Por análoga explicación se suprime una de las chispas en el experimento primero de Curie.

VARIACION EN LA VELOCIDAD DE DESCARGA DEL ELECTROSCOPIO SEGUN EL SIGNO DE SU ELECTRIZACION.

Cuando el electroscopio está cargado negativamente tendrán acción directa sobre él los rayos *alpha* que por lo general son mucho más numerosos que los rayos *betha*. La neutralización será rápida.

Si el electroscopio tiene carga positiva, obran directamente los rayos *betha* y la neutralización tiene que ser forzosamente lenta.

DESPERDICIO NEGATIVO BAJO LA INFLUENCIA DEL ULTRAVIOLETA (Hertz) EFECTO FOTO-ELECTRICO

Hertz demostró que todo cuerpo conductor, electrizado negativamente, pierde su carga si se le somete a la acción de los rayos ultra-violeta y como consecuencia de sus experimentos se admitieron los tres principios siguientes:

I.—El desperdicio sólo se efectúa bajo la influencia de la luz ultra-violeta.

II.—Es casi igual para todos los metales.

III.—La descarga sólo se efectúa cuando la carga del metal es negativa, jamás cuando es positiva.

Gustavo Le Bon demostró otros tres principios que él llamó exactamente contrarios a los anteriores.

I.—El desperdicio llamado negativo, se realiza también, aunque en grado menor cuando la carga es positiva.

II.—La descarga se efectúa con todas las regiones del espectro; pero tiene su máximo en el ultra-violeta.

III.—La descarga difiere notablemente de un cuerpo a otro especialmente entre los metales.

Estos tres principios de Le Bon, que son los verdaderos, según lo ha comprobado con magníficos experimentos y que abarcan el fenómeno en toda su extensión no han recibido sin embargo, explicación satisfactoria. Le Bon que ha sido quien mejor ha estudiado el fenómeno sólo nos dice: "Las radiaciones que producen el desperdicio negativo, no son las mismas que producen el desperdicio positivo" más él se refiere a las radiaciones del espectro.

Veamos cómo nuestra teoría puede dar la explicación de estos hechos. Gustavo Le Bon demostró y Thomson y Lenard comprobaron después, que los metales, y hasta las moléculas del aire, bajo la acción de las distintas regiones del espectro y especialmente del ultra-violeta, emiten efluvios idénticos a los efluvios lanzados por los cuerpos radioactivos. Los metales heridos por la luz emiten al principio sólo rayos *alpha*. Algunos metales solo emiten estas radiaciones; pero otros pueden avanzar más en su disociación y emitir algunos rayos *betha*.

Cada metal tiene poder emisivo especial.

Recordados estos puntos la explicación se muestra clara y fácil.

No sólo nos explicamos los tres principios de Le Bon, si no que además podemos darnos cuenta de por qué a los experimentos de Hertz siguió la admisión de tres principios que no abarcan el fenómeno en totalidad. El Gasto Negativo es más fácilmente observable porque la neutralización es más activa en este caso puesto que los metales heridos por la luz emiten gran cantidad de rayos *alpha*.

El Gasto Positivo se efectúa por la neutralización de los rayos *betha*, pero estos son escasos, o faltan por completo en ocasiones y en este último caso la descarga se efectúa sólo bajo la acción de los rayos *betha* prima; de aquí que sea muy lenta y haya pasado inadvertida para los primeros observadores

He aquí explicado, con la teoría de la neutralización el por qué del fenómeno y teniendo en cuenta otros factores que no puedo exponer aquí por no alargar este trabajo de conjunto, casi hemos asistido a la génisis y evolución de este punto de la Física.

La descarga se efectúa con todas las regiones del espectro porque todas ellas determinan movimientos intra-atómicos.

La descarga difiere de un cuerpo a otro porque la cantidad de rayos emitida por cada cuerpo, bajo la acción de la luz, es distinta.

INFLUENCIA DE LA MATERIA DE LOS ELECTRODOS

Los efectos radioactivos que se obtienen con el ultra-violeta de chispas eléctricas varían notablemente con la substancia de que están formados los eléctrodos. "Las puntas de aluminio dan una luz que produce una descarga, que en igualdad de circunstancias, es tres veces superior a la que produce las puntas de oro; el cobre y la plata dan descargas que se aproximan a las que produce el oro" (Le Bon, loc. cit.)

Algunas explicaciones se han presentado, mas ninguna es satisfactoria: el mismo Le Bon dice: "los hechos que preceden, relativos a la gran diferencia de acción de los electrodos, según el metal de que están formados, parecen probar que el espectro de los diversos metales, contiene además de la luz, algo que aún no conocemos". Ese algo que se ha escapado a los experimentadores no es desconocido; nos es perfectamente familiar: son los rayos "alpha" y "betha".

Le Bon mismo ha demostrado que: ".......lo que sale de una punta electrizada es idéntico a lo que sale de un cuerpo radioactivo" (loc. cit. pág. 191.) y que la cantidad y naturaleza de las radiaciones varía con el metal empleado (obra ya citada pág. 215.) "Los cuerpos más sensibles......son: estaño amalgamado,

aluminio, manganeso, etc.......los menos sensibles: oro plata cobalto......" (pág. 325.)

Una vez sentado lo que antecede, fácilmente se comprende porque si se emplean eléctrodos de aluminio, la velocidad de descarga supera a la que se obtiene usando eléctrodos de oro.

El aluminio se disocia con más facilidad y produce, en igualdad de circunstancias, mayor suma de rayos que el oro, luego la neutralización de las cargas eléctricas se realizará con mayor velocidad cuando se usen eléctrodos de aluminio y con menor rapidez cuando se empleen el oro, el platino, etc., metales difícilmente disociables.

El electroscopio, en presencia de ciertos cuerpos radioactivos sólo se descarga cuando tienen electricidad positiva.

Dice Le Bon refiriendo alguno de sus experimentos; "cuando los cuerpos sometidos al experimento son heridos por la luz, emiten efluvios radioactivos".

"El electroscopio se descarga *sólo con la condición de que haya recibido electrización positiva*".

"Los efluvios casi no tienen acción cuando la carga es negativa".

Teniendo en cuenta las ideas y experimentos del mismo Le Bon, y sirviéndonos después de mis ideas sobre este asunto, es sencillísimo encontrar la explicación de este punto, que hasta hoy parecía tan obscuro.

Los cuerpos heridos por la luz sufren un principio de disociación algunos emiten rayos "alpha", otros producen rayos "betha". Si un cuerpo solo emite rayos "betha" esto es, electrones negativos, desde luego se comprende que sólo se neutralizarán rápidamente las cargas positivas. Las cargas negativas serán neutralizadas lentamente por los rayos secundarios.

De aquí que: "los efluvios casi no tengan acción cuando la carga es negativa".

La influencia reductora que las láminas metálicas tienen en la velocidad de descarga del electroscopio, se explica también satisfactoriamente con sólo tener en cuenta que: una misma cantidad de efluvios radioactivos tienen que neutralizar una cantidad mayor de electricidad.

En efecto, dado el fenómeno de capacidad que se produce por la aproximación de un cuerpo al platillo del aparato, se comprende como, aumentada la capacidad del electroscopio, para producir la misma separación de las ojuelas se requiere, en este último caso, mayor carga que la empleada cuando la hoja metálica faltaba.

LEY DE DESCARGA DEL ELECTROSCOPIO

En la Naturaleza todo acontecimiento está sujeto a leyes. Desde el complicado fenómeno sociológico hasta la sencilla caída de un cuerpo; desde el alto ciclo biológico hasta el hecho más elemental y común, todo, absolutamente todo, se encierra en cintos que ora son inconmovibles ora son más o menos modificables, según se asienten en el principio exacto o en la inducción aproximada; según sea su base la rígida pero sublime Matemática, o la idea nacida del empirismo. Pero cualquiera que sea el fundamento, el progreso de la Ciencia depende de la determinación de la ley o leyes que rigen determinado fenómeno o grupo de fenómenos, y de la formación con estas leyes parciales de una más vasta y general que las sintetice y demuestre que, aquellos casos que en un principio se tuvieron por únicos y aislados, forman en realidad, las partes de un todo definido y homogéneo.

Cuando se descubrió la acción del Uranio sobre el electroscopio se creyó que este fenómeno era único. Vino después el Polonio y con él compartió el Uranio su patrimonio. El Torio se presentó a continuación investido con igual poder, y no tardaron en seguirles el Radio en primer término y después el Aluminio y el Manganeso, el Oro y el Cobre, el Antimonio y el Zinc, el Mercurio y el Estaño, etc., etc., individualidades químicas que, sin causa aparente por entonces, o bien bajo la acción de fuerzas exteriores manifestaban su poder radioactivo.

Más acción ya tan general no debía ya ejercerse al azar, ni tampoco de manera especial en cada caso. Alguna relación debía existir entre estas acciones; quizá alguna ley las unía.

Así, en efecto, después de múltiples experimentos, he creído observar que, la ley que enlaza la materia radioactiva con sus efectos es la siguiente:

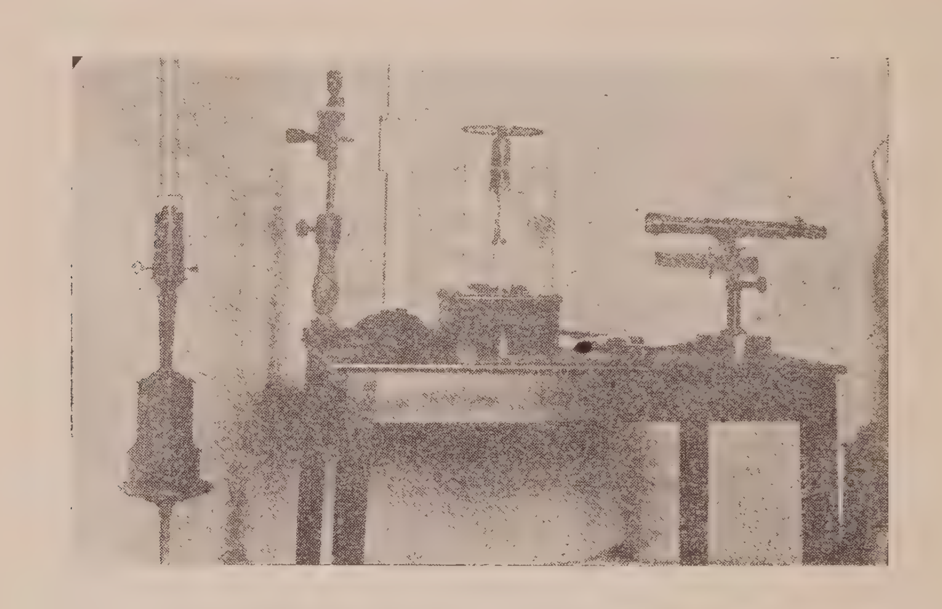
Todo cuerpo electrizado se descarga, bajo la acción de una substancia radioactiva, con una velocidad que está en razón directa de la superficie radiante e inversa de la distancia que media entre ambas.

Esta ley puede expresarse por la siguiente ecuación.

$$V = \Sigma \frac{s}{\Delta}$$

La media de las diversas experiencias que sirvieron para establecer la ley y el dispositivo de observación son como sigue:

con una temperatura constante de 22 grados centigrados, UNO y medio del higrómetro de cabello y los aparatos que se ven en el grabado adjunto, que son un anteojo, un electroscopio provisto de un semi-círculo graduado, una regla con vernier, un soporte de altura variable y una lámpara para proyectar en negro las hojuelas del electroscopio.



El Radio proporciona los siguientes datos:

Carga negativa.	1 unidad de superf. descarga	30°	en 80	segundos de tiempo.
	2 ,, ,, ,, ,,	30°	,, 40	,, ,, ,,
	4 ,, ,, ,, ,,	30°	,, 20	,, ,, ,,
	8 ,, ,, ,, ,,	30°	,, 10	,, ,, ,,
Carga positiva.	1 unidad de supert. descarga	30°	en 96	segundos de tiempo.
	2 ,, ,, ,, ,,	30°	,, 48	,, ,, ,,
	4 ,, ,, ,, ,,	30°	,, 24	,, ,, ,,
	8 ,, ,, ,, ,,	30°	,, 12	,, ,, ,,

Operando con cantidad constante de Radio y haciendo variar la distancia:

Carga negativa.	A 25 mm. de altura	30°	se descarga en 15	segundos de tiempo.
	A 35 ,, ,, ,,	30°	,, ,, ,, 20	,, ,, ,,
	A 45 ,, ,, ,,	30°	,, ,, ,, 25	,, ,, ,,
	A 55 ,, ,, ,,	30°	,, ,, ,, 30	,, ,, ,,
Carga positiva.	A 25 ,, ,, ,,	30°	,, ,, ,, 20	,, ,, ,,
	A 35 ,, ,, ,,	30°	,, ,, ,, 24	,, ,, ,,
	A 45 ,, ,, ,,	30°	,, ,, ,, 28	,, ,, ,,
	A 55 ,, ,, ,,	30°	,, ,, ,, 32	,, ,, ,,

El Ph en oxidación proporciona los siguientes datos:

Carga negativa.	1	unidad	de superf.	dercarga	30°	en	144	segundos	de	tiempo.
	2	,,	,,	,,	30°	,,	72	,,	,,	,,
	4	,,	,,	,,	30°	,,	36	,,	,,	,,
	8	,,	,,	,,	30°	,,	18	,,	,,	,,

Carga positiva.	1	unidad	de superf.	descarga	30°	en	200	segundos	de	tiempo.
	2	,,	,,	,,	30°	,,	100	,,	,,	,,
	4	,,	,,	,,	30°	,,	50	,,	,,	,,
	8	,,	,,	,,	30°	,,	25	,,	,,	,,

Operando ahora con cantidad constante de Ph y haciendo variar la altura:

Carga negativa.	A 25	mm.	de altura	30°	se descargan	en	30	segundos	de	tiempo.
	A 35	,,	,,	30°	,,	,,	40	,,	,,	,,
	A 45	,,	,,	30°	,,	,,	50	,,	,,	,,
	A 55	,,	,,	30°	,,	,,	60	,,	,,	,,

Carga positiva.	A 25	,,	,,	30°	,,	,,	45	,,	,,	,,
	A 35	,,	,,	30°	,,	,,	60	,,	,,	,,
	A 45	,,	,,	30°	,,	,,	75	,,	,,	,,
	A 55	,,	,,	30°	,,	,,	90	,,	,,	,,

El N O^3 Ur. de Merck proporciona los siguientes datos:

Carga negativa.	1	unidad	de superf.	descarga	30°	en	144	minutos.
	2	,,	,,	,,	30°	,,	72	,,
	4	,,	,,	,,	30°	,,	36	,,
	8	,,	,,	,,	30°	,,	18	,,

Carga positiva.	1	unidad	de superf.	descarga	30°	en	200	minutos.
	2	,,	,,	,,	30°	,,	100	,,
	4	,,	,,	,,	30°	,,	50	,,
	8	,,	,,	,,	30°	,,	25	,,

Operando ahora con cantidad constante de N O^3 Ur y haciendo variar la altura, tenemos:

Carga negativa.	A 25	mm.	de altura	30°	se descarga	en	30	minutos.
	A 35	,,	,,	30°	,,	,,	40	,,
	A 45	,,	,,	30°	,,	,,	50	,,
	A 55	,,	,,	30°	,,	,,	60	,,

Carga positiva.	A 25	mm.	de altura	30°	se descargan	en	45	minutos.
	A 35	,,	,,	30°	,,	,,	60	,,
	A 45	,,	,,	30°	,,	,,	75	,,
	A 55	,,	,,	30°	,,	,,	90	,,

Si con los datos que el experimento proporciona construimos el lugar geométrico de cada serie de experiencias encontra-

mos que todos corresponden a la ecuación $y = ax + b$ variado x y b para cada caso, habiendo algunos en que b se hace igual a cero pasando entonces la línea por el orígen; pero como quiera que sea siempre es la línea recta la representación gráfica de la ley.

Estos resultados están de acuerdo con las investigaciones de Gray y Wilson ya citados.

En efecto el aire ambiente hace oficio de pantalla y detendrá tantos más «corpúsculos» cuanto más gruesa sea la capa interpuesta entre el centro de emisión y el electroscopio, es decir, a mayor distancia entre ambos mayor cantidad de rayos detenidos y por consecuencia, menor velocidad en la descarga.

En lo referente a la superficie es tan fácil comprender y explicar por qué varía la velocidad en razón directa de la superficie que omito la exposición.

En la fórmula figura un factor $\lessgtr$ que representa una constante o suma de constantes dependientes de la substancia, electroscopio, etc., etc.

CAUSAS DE ERROR EN EL EMPLEO DEL ELECTROSCOPIO

Son dos los grupos en que pueden reunirse las causas de error en el empleo del electroscopio como aparato de investigación o de medida, a saber: constantes y variables.

Omitiremos todas las que han señalado los autores y únicamente apuntaremos la que nos ha enseñado la experiencia y que no hemos encontrado en ningún autor.

I. No debe procederse como lo hacen la mayor parte de los experimentadores poniendo en íntimo contacto el cuerpo que se estudia y el platillo del electroscopio

Para evitar este contacto hay razones de orden físico y químico:

El contacto de substancias diferentes (especialmente los metales) desarrolla electricidad. Si las substancias que se reunen reaccionan entre sí, se desarrolla igualmente electricidad y tanto en un caso como en otro la presencia de este fluido es perjudicial.

II. El platillo debe ser inatacable químicamente.

Para esto deberá cubrirse con una capa de oro o platino y barnizarse después.

Si se desprecia esta advertencia puede darse el caso de tomar por substancia radioactiva la que solo tiene influencia química sobre el platillo.

Para hacer patente la necesidad de prevenirse contra este frecuente error, voy a relatar un hecho.

Observaba uno de mis ayudantes la acción de los vapores ácidos sobre el electroscopio y notó que el aparato se descargaba bajo la acción del vapor del ácido nítrico o del clorhídrico. Atribuyó el fenómeno a radioactividad de los vapores. Pero después yo noté que la descarga era más rápida cuando se ponían gotas de estos mismos ácidos sobre el platillo.

Me vino la idea que los vapores no eran radioactivos y que la descarga se debía a la electricidad desarrollada en el platillo mismo por la reacción que severificaba entre éste y el ácido.

Entonces puse al electroscopio un platillo forrado con una hojuela de oro. En estas condiciones los vapores ácidos *no produjeron ya la descarga.*

Pusimos ácidos sobre la hoja de oro y el aparato conservó su carga.

Atacamos en seguida con agua regia y la descarga se realizó, mis presunciones se confirmaron. Por tanto se ven patentes las necesidades que señalo, esto es, que el platillo sea químicamente inatacable, (se sobre-entiende que esto es hasta donde por lo general pueda obtenerse), y que la substancia por estudiar se coloque independiente del mismo platillo.

III. Un mismo electroscopio no deberá usarse por muchas horas seguidas porque se desarrolla en él cierta radioactividad inducida que falsea los resultados.

De aquí se infiere que la recomendación hecha por cierto experimentador de renombre aconsejando para medir la radioactividad de un cuerpo se le tenga tres horas en presencia del electroscopio y después se efectúe la medida, es poco acertada.

Hay que tener en cuenta las diversas capacidades de los aparatos para no tomar por erróneas las cifras dadas ya por otros experimentadores o bien por nuestros aparatos al repetir las experiencias de los autores.

Entre las causas variables o relativas al lugar en donde se experimenta, enumeraremos las siguientes:

Mayor o menor cantidad de vapor de agua contenido en la atmósfera. Corrientes de aire. Variaciones de la intensidad de la gravedad.

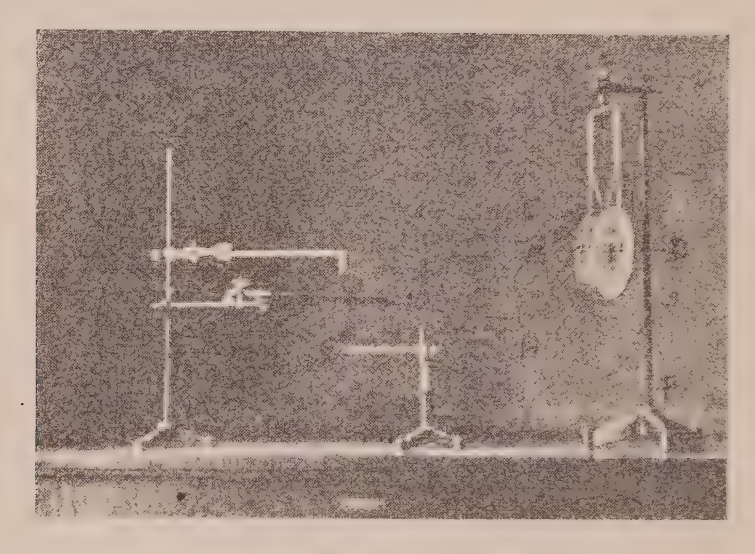
La temperatura influye cuando se estudia algún fenómeno de radioactividad por acción química.

Por último, no hay que olvidar el efecto perturbador que a veces ejercen las ondas de Hertz.

EL NUEVO ELECTROSCOPIO

El estudio de las causas de error en el empleo del común modelo de electroscopio del cual no son sino variantes de forma los propuestos por Curie, Elster, Geitel y Wilson me llevaron a imaginar un modelo en el cual se suprimiesen, hasta donde fuese posible los defectos que pueden influir en un falso resultado.

Siendo condición indispensable para un buen funcionamiento del aparato que esté perfectamente aislado procuré que este requisito se llenase como se verá en la descripción que voy a emprender.



Consta el aparato de un disco aislador D que viene a formar el dieléctrico de un condensador una de cuyas armaduras se encuentra en el exterior y la otra cubierta por una caja de cristal C. perfectamente adherida al dieléctrico. El aire contenido en la caja se enrarece mediante la máquina neumática. La armadura interior queda como a 5 milímetros de distancia circular de la caja de cristal.

Siendo necesario para la sensibilidad del aparato que la carga eléctrica sea lo más pequeña posible; pero por otra parte, suficiente para producir una separación considerable de la hojuela he adoptado, en vez del oro, el aluminio que es sumamente ligero. En tal virtud se encuentra adherida a la armadura interior una delgada hojuela de aluminio, haciéndose la unión mediante otra hoja adicional transversal.

En la parte exterior de la caja de cristal y frente al punto de unión de la hojuela de aluminio con la armadura interior se

encuentra un disco metálico M como de un centímetro de diámetro y en comunicación con un hilo H, metálico también, que tiene dos objetos principales, según se verá en la descripción del funcionamiento del aparato.

Todo el sistema se encuentra suspendido mediante hilos de seda S que pasan en el interior de un tubo de cristal T que tiene un pivote en L unido mediante lacre rojo a un capuchón exterior también de cristal. De esta manera el aislamiento del sistema es casi perfecto.

Un pie de hierro P sostiene el conjunto.

En la figura se ve el hilo H unido a un aparato R. Este aparato es un plano de prueba que consta de un soporte de cristal unido, mediante azufre, a una rama horizontal de vidrio en cuyo interior pasa un alambre de cobre que termina en la extremidad E por una laminilla de *platino* de un centímetro cuadrado.

FUNCIONAMIENTO

Dos son los casos que vamos a considerar: cuando el aparato funciona para simple investigación y cuando se usa para medidas de precisión.

I. Caso.—El hilo H se une a tierra. Después se aproxima a la armadura exterior del condensador una barra (cristal o lacre, según el caso) electrizada y la carga del aparato se realiza por el mecanismo común.

Teoría.—La presencia de la barra electrizada descompone la electricidad neutra de la armadura exterior; la electricidad de nombre contrario a la carga que tiene la barra se neutraliza y la armadura exterior se carga con una pequeña carga del mismo signo que la barra influyente.

La armadura exterior, por influencia, desarrolla una carga de signo contrario pero de igual potencial en la armadura interior y en la hojuela de aluminio. Como la superficie de la armadura interior es muchas veces mayor que la hojuela de aluminio, resulta que esta última es vivamente rechazada y merced a su poco peso el ángulo de separación es muy considerable. El disco metálico que, a través del cristal, viene a quedar frente a la extremidad de la hojuela de aluminio, como está en comunicación con tierra a su vez influye sobre la hojuela y ésta toma la posición horizontal, formando con la armadura interior un ángulo de 90° siempre constante.

Estando el electroscopio cargado en las condiciones antes dichas, si iones o electrones vienen a obrar sobre la armadura exterior neutralizando su carga, la electricidad que por influencia se había desarrollado en la armadura interior se recombi-

na y vuelve al estado neutro cayendo entonces la hojuela de aluminio con una velocidad, contada desde el momento en que el movimiento se inicia, que está en razón directa de la cantidad de efluvios radioactivos que neutralizaron la armadura exterior electrizada.

II Caso.—El hilo H se separa de la comunicación con tierra y se une al plano de prueba tal y como se ve en la figura. La barra frotada se aproxima al plano de prueba e instantáneamente la hojuela de aluminio se separa 90° de la armadura interior.

Teoría.—El plano de prueba, el hilo conductor y el disco metálico toman directamente una carga proporcional a su capacidad y del mismo signo de la barra que se les presentó, (cristal o recina). Por influencia descomponen la electricidad neutra de la armadura interior que toma una carga igual en magnitud pero de signo contrario a la carga del disco y la hojuela es inmediatamente rechazada.

El cuerpo por estudiar se presenta, en este caso, al plano de prueba y la descarga se efectúa por el mecanismo conocido.

*
* *

Como se ve tanto en el primero como en el segundo caso el principio en que se funda el funcionamiento de este electroscopio es distinto del que sirve de base al antiguo electroscopio de hojas de oro ligeramente modificado por Curie, Elster y Geitel, etc. En el primer caso se emplea la condensación y en el segundo la influencia. En el electroscopio común la electricidad se reparte en un conductor único formado por el platillo, el tallo y las hojuelas de oro.

Las ventajas del aparato se ponen de manifiesto cuando funciona con el plano de prueba y a este caso se referirán los párrafos siguientes.

Desde luego salta a la vista la conveniencia de la separación entre el aparato propiamente dicho y la superficie donde obrará la substancia por estudiar, pues en este caso no podrá desarrollarse en el electroscopio la menor cantidad de radioactividad inducida y el uso del aparato puede ser indefinido.

Cierta cantidad de radioactividad inducida podrá producirse en el plano de prueba: pero siendo éste de platino puede llevarse al rojo blanco y destruyendo la emanación el aparato vuelve a su estado primitivo.

La pequeñez de la superficie de platino y la fácil movilidad del plano de prueba hacen que sea utilizable para investigaciones a las que no se prestaría el voluminoso electroscopio común.

Queda suprimido en este aparato el error más común. Quiero referirme al caso en que una substancia reaccionando sobre el metal del platillo del electroscopio produce electricidad que descarga el aparato. En efecto siendo en nuestro electroscopio de platino el punto donde van obrar las substancias en estudio se infiere que solo en condiciones excepcionalísimas podrá ser atacado el platino; pero en la inmensa mayoría de los casos ninguna reacción se producirá.

Para que una substancia radioactiva débil pueda producir una descarga fácilmente observable es necesario que la cantidad de electricidad que dicha substancia tenga que neutralizar en la unidad de tiempo sea pequeña; pero por otra parte es necesario que el ángulo de separación de las hojuelas de oro sea grande para que la descarga se haga muy aparente y este ángulo de gran abertura solo se consigue en el electroscopio común con una carga considerable. Son entonces dos condiciones que parecen imposibles de realizar por ser opuestas.

En nuestro electroscopio se han realizado sin embargo La carga es pequeña; pero siendo la superficie de la armadura interior muy grande con relación al tamaño de la hojuela de aluminio y siendo esta hojuela muy móvil por su escasísimo peso, fácilmente se comprende por que la sensibilidad de este electroscopio es grande y por ende utilizable para el estudio de substancias débilmente radioactivas.

A su gran sensibilidad se debe el que con él se pueda poner de manifiesto con suma facilidad la carga y descarga del aparato mediante el fósforo radioactivo.

En efecto carguemos el aparato como se ha dicho en el segundo caso. Si estando así cargado el electroscopio aproximamos un fragmento de fósforo al plano de prueba la hojuela de aluminio cae; llevando ahora el fósforo frente a la armadura exterior del gran condensador del electroscopio la hojuela vuelve a levantarse, pudiendo repetirse de nuevo el experimento.

Como en este aparato la hojuela siempre diverge 90° se pueden efectuar algunas medidas sin recurrir a la iluminación de las hojuelas y uso del micrómetro. Sólo en el caso de medidas de gran precisión será necesario recurrir al dispositivo ya conocido y comenzar a contar el tiempo de descarga desde el momento en que se inicia el descenso de la hojuela.

RADIOACTIVIDAD ESPONTANEA

El Radio

El tipo clásico de radioactividad espontánea, al parecer lo presenta el Radio, aunque el Uranio, el Torio, etc., pueden sin duda, servir también de ejemplo.

Los esposos Curie, después de un prolongado y meritorio estudio de las propiedades radiantes de Uranio creyeron ver en ciertos productos uraníferos actividades superiores a las que teóricamente correspondían al compuesto que examinaban.



Los esposos Curie.

Unido esto a la hipótesis sostenida por ellos mismos refiriendo el efecto radioactivo a una propiedad inherente al átomo, propiedad inmodificable por ningún medio físico o químico, era necesario admitir la presencia de un nuevo elemento dotado de poder superior al que presenta el Uranio para poder explicar las anomalías que observaban.

Pierre Delbet dice que: «.......una hipótesis, aun mala puede conducir indirectamente al descubrimiento de la verdad por las investigaciones que suscite» y evidentemente asiste la razón al gran cirujano pues el descubrimiento del Radio es una de tantas pruebas de ello.

Tras laboriosas operaciones físico-químicas los esposos Curie lograron aislar un producto dotado de enorme poder ra-

diante. El compuesto separado así, mediante cristalizaciones fraccionadas, resultó ser un cloruro de algo que llamaron Radio. La última sal puede ser un sulfato, un bromuro, un cloruro, etc., según el rectivo funal.

Durante algún tiempo se dudó que el Radio fuese un elemento químico pues sus reacciones son iguales a las que presenta el Bario y pasaron algunos años para que se le hubiera podido tener en estado de pureza. Las diversas cifras obtenidas para expresar su peso atómico hicieron tener poca confianza en los resultados y aun los datos del espectroscopio no eran completamente probantes.

Gustavo Le Bon llegó a considerarlo, y con justicia, como una sal de Bario que presentase alguna impureza o modificación estructural atómica que le hiciese presentar en gran escala el fenómeno radioactivo y recordaba como el sulfuro de zinc químicamente puro está desprovisto de fosforescencia y aquel que presenta algunas impurezas está dotado de enérgico poder lumínico.

Pero como quiera que esto sea ya puede considerársele hoy como un elemento químico perfectamente definido en algunas de sus constantes, pues gracias a los múltiples experimentos de la Señora Curie seguidos de las rectificaciones de Honigschmid se admitió como peso atómico probable el número 226. La Comisión de Pesos Atómicos integrada por Clark, Thorpe, Oswald y Urbain (1913) adoptaron como peso atómico el obtenido por Ramsay y Gray que es de 226,36.



Dispositivo Curie para separar los diversos rayos.

Demarcay calculó la longitud de onda de las diversas líneas que forman el espectro del Radio quedando este definitivamente individualizado con estas constantes.

El Radio emite una «emanación» cuyos caracteres generales hemos expuesto al tratar de este producto de los cuerpos radioactivos. Pero indudablemente que la parte más importante está constituida por los rayos *Alpha, Betha y Gamma* que pueden tomarse como típicos. La emanación tiene un papel de primer orden en otra serie de fenómenos que vamos a ver dentro de un momento.

El dispositivo clásico empleado por los esposos Curie para separar las diversas radiaciones componentes del Radio es el

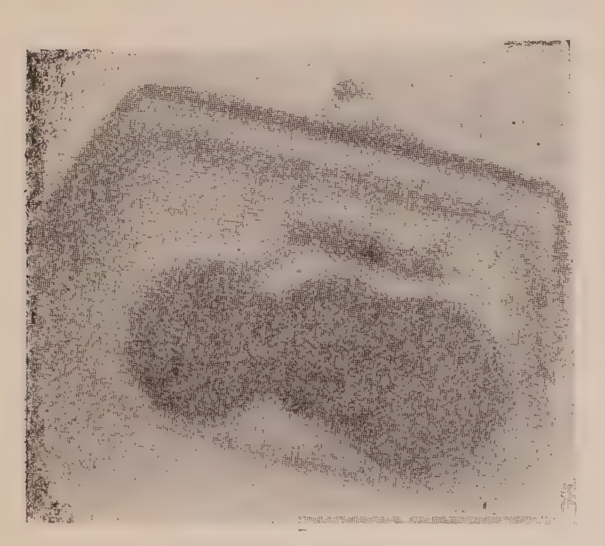
que se ve en el grabado y su funcionamiento es como quedó explicado en los capítulos que consagramos al estudio de las diversas radiaciones.

La cápsula que contiene el Radio se encuentra colocada entre los polos de un poderoso electro-imán que efectúa la separación de los rayos electrizados dejando indemnes los que no transportan carga eléctrica.

El electro-imán se supone colocado de delante a atrás para que las desviaciones se efectuen a derecha e izquierda.

Es por demás entrar en más detalles respecto a cada una de esas radiaciones puesto que ya las hemos estudiado con detalle hasta donde lo permiten las dimensiones reducidas de este libro de vulgarización.

Por lo que se refiere a las radiaciones no electrizadas o sean los rayos *Gamma* presentan toda una escala que principiando en ondulaciones dotadas de propiedades penetrantes iguales a las de los rayos X blandos llegan a alcanzar poder penetrante aun más alto que la radiación de Roengen duras y no es raro ver que los rayos *Gamma* del radio puedan atravesar láminas de plomo de varios centímetros.



Empleando un dispositivo como el que hemos indicado para la separación de las tres clases de rayos, dispositivo que tiene por objeto desviar los rayos poco penetrantes y que por su difusión contribuyen a dar poca precisión a los contornos de los objetos que se trata de radiografíar es posible llegar a producir radiografías como la adjunta que muestra unas monedas y una llave gravadas en la placa fotográfica mediante el Radio obrando a través de la piel de un porta-moneda.

Giesel comprobó por primera vez que el Radio es capaz de descomponer el agua cuando se encuentra en contacto con ella. Runge, Bodlander, Ramsay, Soddy y Cameron aportaron datos cuantitativos sobre el fenómeno; pero aún más interesantes son los experimentos de Debierne que probaron que tal descomposición puede efectuarse aun que el Radio no esté en contacto directo con el agua sino haciendo obrar sus rayos penetrantes a través de las paredes de un recipiente de cristal. Kernbaum modificó el dispositivo de Debierne haciendo comunicar el receptáculo del agua con un manómetro, lo que permite

una comprobación inmediata y demostró además, que una parte del oxígeno se combina al agua dando H^2 O^2.

Si las manifestaciones de radioactividad consisten en la emisión de partículas, que en último resultado no son sino componentes del átomo, es lógico suponer que los átomos de la materia se van modificando a cada instante y que llegará un momento en que esas modificaciones serán tangibles para nosotros. Así es en efecto y el Radio da origen a derivados con propiedades características perfectamente definidas que les hacen reconocible en cualquier momento.

Rutherford, Ramstedt, Meyer, Schweidler, Makower, Rossi, etc., han contribuido con sus numerosos y bien llevados trabajos a fijar las constantes de los derivados del Radio.

El primer derivado del Radio es el Radio A cuyo peso atómico es de 218,5 su existencia es sumamente corta pues sólo dura 4,3 minutos, emite radiaciones *alpha* y se volatiliza a 900°.

Del Radio A se origina el Radio B que tiene por peso atómico 214,5 y tiene una existencia de 38,5 minutos emitiendo radiaciones penetrantes *betha;* su punto de volatilización es de sólo 600°.

Lo que se consideró en un principio como Radio C es en realidad un compuesto de dos derivados, que merced a los trabajos de Hahn y Meitner se llegaron a separar, designándose cada uno de los componentes con la notación de Radio C_1 y C_2 para no alterar la nomenclatura de los subsecuentes derivados que ya eran conocidos con la letra que les correspondía hasta el momento anterior a los trabajos de Hahn y Meitner.

El peso atómico del Radio C_1 es igual a 214,5; pero su vida es únicamente de 28,1 minutos; sus radiaciones están formadas por las tres clases de rayos *alpha*, *betha* y *gamma*, los rayos *alpha* pueden recorrer un trayecto de 6,55 centímetros lo que hace que se clasifiquen entre los más penetrantes de su especie.

Los rayos *betha* son tambien penetrantes y llegan a atravezar láminas de aluminio de 0,5 milímetros de espesor.

Los rayos *gamma* que produce no son muy penetrantes.

El Radio C_2 no emite radiaciones *alpha;* sólo rayos *betha* y *gamma* se le han podido encontrar.

El Radio D tiene por peso atómico 210,5. Aunque no se conoce con exactitud cual será el número de años en que efectúa su transformación, se ha calculado que no debe ser menor de 24. La vida de este derivado, conocido también con el nombre de Radio-plomo es, por consiguiente, enormemente superior a la de sus antecesores.

El Radio E tiene un peso atómico igual al de su antecesor, pero su vida sólo es de 7,25 días. Su emisión está formada por rayos *betha* y *gamma*.

Para el Radio E, como para el Radio C habían descrito dos componentes que fueron designados con sus respectivos índices; pero experimentos posteriores demostraron que tales componentes no existen y que el producto de desintegración del Radio E es el Radio F o Polonio.

El peso atómico del Radio F es de 210,5 y tiene una duración de 202 días; emite rayos de poder penetrante medio pues solo recorren una trayectoria, a la presión ordinaria, de 3,58 centímetros.

Tiene grandes analogías con el Bismuto y con el Teluro.

Sus productos de desintegración no son aun conocidos pero quizá el último producto de esta serie sea el Plomo.

Cuando estudiamos detenidamente toda esta serie de transformaciones y las comparamos con los diversos estados alotrópicos que la química considera en los cuerpos comunes, estados alotrópicos que se obtienen siempre con liberamiento de energía produciendo cambios tan notables como la transformación del fósforo blanco en rojo y otras tantas, no podemos menos que sentir hondo desconsuelo de no poder contar con los elementos necesarios para emprender un estudio en determinado camino que indudablemente conducirá a resultados de porvenir.

El Ph blanco se transforma lentamente, en condiciones adecuadas, en Ph rojo. Durante este paso hay una gran producción de rayos de la familia de los que emiten los cuerpos radioactivos, alcanzándose al final un equilibrio más estable.

El Radio F para llegar a un estado de equilibrio, el Plomo, lanza al espacio sus radiaciones, pierde energía, y sólo así llega a su transformación más estable.

Quizá el día en que se realice el sueño de los alquimistas no esté lejano. Tocará a la Ciencia de mañana erguirse omnipotente sobre el pedestal que la Ciencia de ahora la levante.

RADIOACTIVIDAD POR VIA FISICA

El Ampula de Crookes

Difícil es para los tratadistas de Física colocar en el lugar conveniente el estudio del ámpula de Crookes. Así, autores hay que someramente traten el asunto al hablar de la electricidad estática, otros mencionan algunos de los fenómenos que se verifican en el tubo de vacío al estudiar el carrete de Ruhmkorff, otros al tratar de las corrientes alternantes, etc; pero casi en todos estos casos únicamente se estudia una mínima parte de los fenómenos que tienen lugar durante el funcionamiento del ámpula y dejan a un lado asuntos tan interesantes como el es-

tudio de los Kanalstrahlen, de los espacios obscuros, caida de potencial, etc.

Tal dificultad para asignar puesto al estudio del ámpula sólo reconoce por causa la tendencia a considerar los fenómenos radioactivos como espontáneos excluyendo, por consecuencia, todo aquello que, aun teniendo los mismos atributos que las substancias radiantes, deban su actividad a causas físicas o químicas. Si tal prejuicio no hubiese existido, muchos años abrían ya transcurrido desde que por primera vez se hubiesen agrupado en un solo capítulo todo estos hechos.

Es indudable que a muchos parecerá una herejía que me atreva a clasificar el ámpula de Crookes entre los elementos de que disponemos para obtener manifestaciones de radioactividad por vía física; pero tales reparos desaparecerán al considerar que del ámpula de Crookes se extraen los mismos productos que del Radio, tipo de los cuerpos radioactivos.

En efecto, del Radio parten rayos positivos *alpha*, rayos negativos *betha* y ondulaciones etéreas o sean rayos *gamma*.

En el ámpula de Crookes se originan rayos positivos, los Kanalstrahlen; rayos negativos, los catódicos y vibraciones del Eter, los rayos X.

En los capítulos anteriores hemos visto la identidad entre los rayos *alpha* y de los kanalstrahlen; la identidad entre los rayos *betha* y los catódicos y la identidad entre los rayos *gamma* y los rayos X.

Son iones positivos los rayos *alpha* y son tambien iones positivos los kanalstrahlen; son electrones negativos los rayos *betha* y electrones negativos son los rayos catódicos; vibraciones etéreas son los rayos *gamma* y ondulaciones del Eter son los rayos X con iguales constantes en ambos casos.

Sólo una diferencia existe: en el Radio se producen estas entidades con espontaneidad aparente y en el ámpula de Crookes es necesaria la corriente eléctrica para que se manifiesten.

¿Será esta una diferencia capital que impida asimilar ambos resultados? No, evidentemente. Sólo será un motivo para distinguir dos maneras distintas de obtener el mismo fenómeno, dos caminos diversos que conducen al mismo fin.

Es el estudio del ámpula de Crookes uno de los más hermosos capítulos de la Física y un manantial constante de enseñanza mostrando como el hombre va poco a poco conociendo fragmentos de la verdad. Desde 1838 Faraday principió al estudio del paso de la electricidad a través de los gases enrarecidos; sus experimentos han quedado clásicos y quién no recuerda haber observado los fenómenos que se desarrollan en el huevo eléctrico?

En 1843 Abria prosiguió el estudio principiado por Faraday fijando su atención, de preferencia, sobre el aspecto estratificado de la iluminación del tubo de vacío. Este aspecto desaparece en determinados casos lo que motivó que Spottiswoode y Fernet aplicasen al fenómeno el método de investigación de los espejos giratorios encontrando entonces que la estratificación de la descarga es mas constante de lo que parece a primera vista pues se observa hasta en tubos que sin este artificio parecerían uniformemente iluminados.

Poco más tarde aparece el nombre de unos de los físicos mas ilustres de esa época (1869 a 1879.) quiero referirme a Hittorf cuyos experimentos le condujeron a la convicción que la descarga en los gases rarificados es discontinua lo que ha sido confirmado recientemente por Cantor y Stark que han llegado a resultados más concluyentes, por contar con mayor número de hechos y elementos que sus antecesores Hertz, Rhulmann y Wiedemann.

Sin embargo, casi todo este lapso de tiempo lo llena Hittorf con sus notables observaciones que brillan en primera fila. Gran parte de los descubrimientos que el vulgo atribuye a Crookes pertenecen en realidad a Hittorf que fué el primero en llevar el vacío del tubo a un alto grado.

Tres nombres principales figuran en esta época, Hittorf, Goldstein y Crookes, girando alrededor de estos toda una pléyade de investigadores distinguidos.

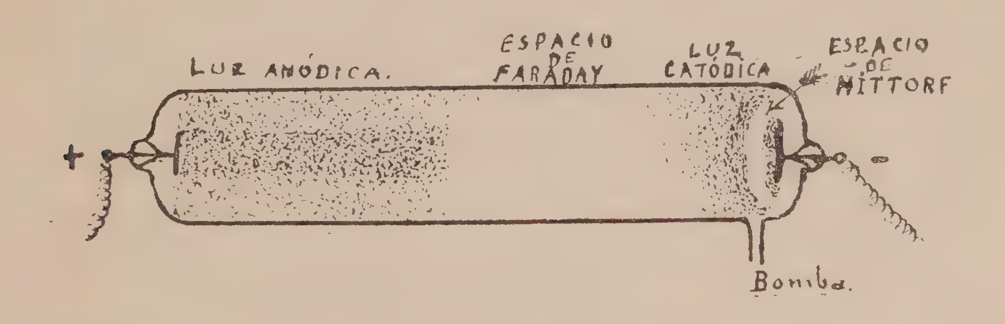
Para estudiar los fenómenos que se desarrollan en el tubo de vacio, supongamos una ámpula de cristal provista de dos electródos de aluminio y directamente opuestos; este tubo estará en comunicación constante con la bomba que hará el vacío progresivo.

A medida que el enrarecimiento del aire aumenta la descarga en el interior del tubo se modifica. Cuando el desnivel de la columna del manómetro de mercurio acusa solamente un centímetro de diferencia se ve una gruesa columna luminosa rosada que parte del ánodo y se detiene a poca distancia del cátodo. Esta especie de nube brillante que ocupa el eje del tubo (suponiendo que este sea cilíndrico como el tubo de Tesla) es conocida con el nombre de luz positiva o anódica. La porción obscura comprendida entre la terminación de la luz anódica y el cátodo constituye el espacio obscuro de Faraday.

Si continuamos enrareciendo el aire los fenómenos van modificándose gradualmente pues a medida que la presión disminuye dentro del tubo aumentan el espacio obscuro de Faraday y el volumen de la luz anódica que puede llegar hasta las paredes del tubo. Pero a medida también que el espacio de Faraday aumenta y crece con él el enrarecimiento del aire, va aparecien-

do sobre el cátodo una sección longitudinal luminosa conocida con el nombre de luz negativa o catódica. Si el abatimiento de presión intratubaria aumenta vemos que conforme se ensancha el espacio de Faraday y disminuye la luz positiva, la luz catódica crece en todos sentidos llegando a rodear el cátodo, aunque sin tocarlo constituyendo entonces la vaina negativa cuya extremidad distal se esfuma en el ambiente obscuro que la rodea. Si el enrarecimiento del aire alcanza $\frac{1}{50}$ de milímetro podemos ver con entera facilidad el cátodo rodeado por una luminosidad que parece adherida al cátodo mismo, después una zona obscura de algunos centímetros de espesor y finalmente el principio del cilindro de luz negativa de que hablamos. Esta segunda porción privada de luz forma el espacio obscuro de Hittorf.

Hittorf, el ilustre físico alemán, estudió detenidamente la porción que lleva su nombre descubriendo en 1868 que la electricidad se propaga en línea recta en la zona obscura que rodea el cátodo y estudiada con anterioridad por Plücker. Wiedemann llamó a tales radiaciones, "catódicas."



En el capítulo relativo a rayos *betha* hemos visto las propiedades de que gozan los rayos catódicos y no hay para que repetir sus efectos mecánicos, térmicos y luminosos así como toda la serie de variados experimentos que ha fijado sus propiedades.

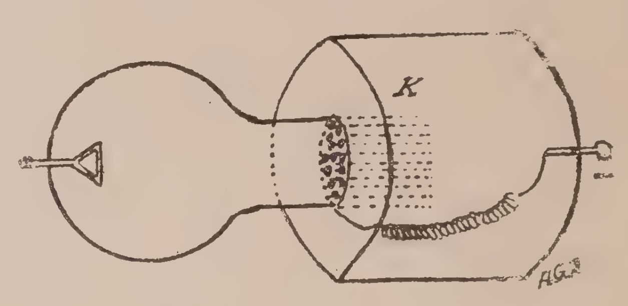
Si modificamos la construcción de tubo del vacío como lo hizo el sabio alemán Goldstein, y colocamos un cátodo con perforaciones como lo enseña la figura siguiente, se observa un notable fenómeno: la parte de ámpula comprendida entre el cátodo perforado y el ánodo sigue presentando los mismos fenómenos que someramente acabamos de enumerar; pero la porción comprendida entre el cátodo perforado y el polo opuesto del ámpula es teatro de nuevos fenómenos. Por cada perforación o canal abierto en el cátodo se precipita hacia la región indicada un haz amarillento sensible a la acción del campo magnético, sólo que la desviación que el haz experimenta es menor que la sufrida por los rayos catódicos y se hace en sentido contrario, lo que prueba que la carga que transportan es de signo contra-

rio a los primeros, esto es, llevan una carga POSITIVA. Estos rayos son los KANALSTRAHLEN.

El estudio de los kanalstrahlen ha probado que son iones iguales a los comunmente conocidos con el nombre de rayos *alpha*.

Wien ha determinado el valor de e|m encontrando que es igual a $0{,}3 \times 10^3$ valor del orden de los encontrados para los rayos *alpha*.

Estos rayos de Goldstein no son las únicas partículas cargadas de electricidad positiva, pues ya Thomson (J. J.) había notado que si el haz catódico se desvía por el imán queda una porción apartada en sentido contrario, o sea hacia la izquierda, que forzosamente tiene que estar formada por partículas positivas.



Tubo de Goldstein.

Los kanalstrahlen al chocar contra las paredes del tubo no determinan fluorescencia verde como los rayos catódicos sino una simple iluminación amarillenta.

Consecuencia necesaria de la conmoción originada por el choque de los "corpúsculos" negativos es una serie de vibraciones del Eter que vienen a constituir un movimiento ondulatorio discontinuo de longitud de onda igual a 10^{-9} según Laue, por término medio. Estas vibraciones forman los rayos X ya estudiados en su capítulo correspondiente.


Tubo de Crookes, modelo común.

Al estudio de esta producción de rayos X se reduce, en la mayor parte de los tratados de Física, el estudio del ámpula de Crookes, como si los rayos X fuese lo único digno de tomarse en cuenta en el tubo de bacío.

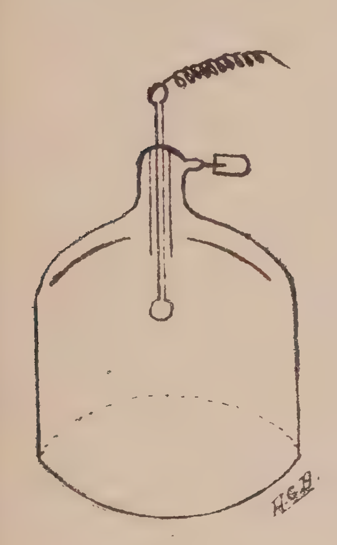
He aquí pues que del ámpula de Crookes, aun en su forma más común podemos extraer rayos *alpha*, *betha* y *gamma* o sean kanalstrahlen, rayos catódicos y rayos X.

Luego por sí solo se justifica el sitio que hemos asignado al tubo de Crookes para su estudio.

Puesto que del tubo de vacío nos ocupamos, justo es recordar que ha pasado por diversas modificaciones mas o menos felices contándose, entre estas, dos que merecen mencionarse, pues las otras solo son diversas colocacianes de los electródos

o multiplicación de los mismos. D'Arsonval pretendió introducir una modificación especial suprimiendo el anticátodo y excitando el ámpula mediante la corriente de su dispositivo de alta frecuencia [No. 10 del cuadro final.] La modificación es genial y constituye un fuerte argumento en favor de la teoría de la ondulación etérea sin embargo, pasó inadvertida en Europa sucediendo con esto como en otros muchos casos que aun para sus primeros observadores parecen de poco interés.

Otra modificación de interés es, sin duda, el cátodo cóncavo y la adopción del anticátodo metálico situado en el punto de convergencia del haz catódico, lo que permite mayor precisión en los contornos de las imágenes fluoroscópicas o grabadas en la placa sensible; sin embargo, como la vibración X parte del anticátodo formando un cono cuyo vértice está en el punto de convergencia de los rayos catódicos, la proyección de la sombra de las partes opacas será siempre cónica y los objetos tendrán, forzosamente, que resultar deformados sobre la pantalla de platino cianuro de bario o sobre la placa fotográfica. A esto se debe una buena parte de los fracasos experimentados por los operadores cuando sin tomar las precauciones debidas resuelven una intervención quirúrgica confiados en las apariencias que dan los rayos X y sin tener en cuenta todas las circunstancias que rodean el fenómeno.


Tubo de Rayos X del autor

Gustavo Le Bon ha obtenido rayos X con un tubo desprovisto de electródos, (experimento que nosotros hemos comprobado), pero tal manera de proceder es tan original que no puede tomarse como modificación del ámpula de Crookes.

Teniendo en cuenta los últimos experimentos sobre este asunto que nos ocupa, hemos emprendido toda una serie de experiencias cuyo resultado ha sido la construcción de un tubo original, que en nada recuerda el antiguo tubo de Hittorf.

Según puede verse en la figura adjunta es monopolar y está formado por un casquete esférico metálico adherido a una porción cilíndrica y terminado por un disco de aluminio que obtura la base inferior del cilindro. El casquete esférico está atravesado por una barilla metálica perfectamente aislada y que termina en una esfera en el centro de curvatura del casquete esférico. El vacío es igual al del ámpula de Crookes.

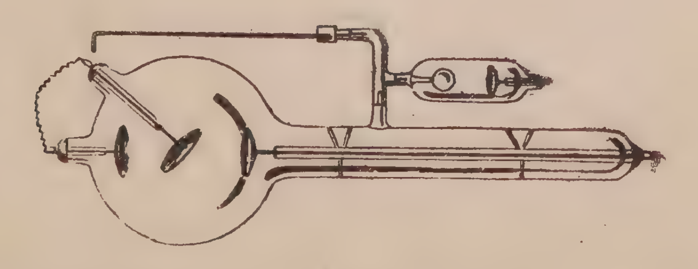
El aparato se hace funcionar con un pequeño resonador Oudin y los rayos X que produce, son suficientemente penetrantes para producir una buena radioscopía del torax.

Como la porción productora de radiaciones X es un casquete esférico el haz de rayos está formado por un conjunto paralelo y la proyección de las partes opacas resulta ortogonal, lo que permite, tomando las posiciones correctas obtener una sombra no deformada de la parte por observar.

Si se examina detenidamente este modelo de ámpula que yo presento, aunque no existiesen los notables e incontrovertibles experimentos que muestran que los rayos X son vibraciones etéreas, sería forzoso convenir en que solo admitiendo un fenómeno vibratorio podrían explicarse los hechos.

La teoría del funcionamiento de este tubo es sumamente sencilla: los electrones, lanzados por el resonador Oudin llegan hasta la esfera central y son proyectados en el vacío con la velocidad que ya conocemos llegando hasta el casquete esférico donde chocan contra éste. De estos dos hechos resulta la conmoción etéterea que se traduce por el fenómeno que conocemos con el nombre de RAYOS X.

Los tubos marcados con el cuadro resumen con los números 10 y 14, que son los de D'Arsovanl, son monopolares; pero el primero no dió resultado por la forma del tubo y porque no llena las condiciones que la teoría exige para su buen funcionamiento y el segundo es solamente monopolar en apariencia pues D'Arsonval mirando que su primer tubo fracasó mandó construir otro que presenta el polo en el exterior. Este segundo tubo, como el primero, también fracasó.



El cuadro anterior resume las principales modificaciones faltando únicamente el modelo auto regulador que se ve abajo y el de refrigeración por corriente de agua.

RADIOACTIVIDAD POR VIA QUIMICA.

Fósforo en oxidación.

En numerosas ocasiones he tratado este asunto con toda clase de detalles. Aquí sólo presentaré un resúmen de los trabajos que desde 1908 he ejecutado primero en los magníficos laboratorios de Física y Química del Colegio Preparatorio de Jalapa Ver., después con los escasos elementos personales de que dispongo y últimamente con algunos aparatos del Intituto de Biología que, sin embargo, dejan mucho que desear.

HISTORIA DE LOS ACONTECIMIENTOS.

Como quiera que la historia de los distintos acontecimientos que preceden a un fenómeno y de los diversos hechos que encadenados vienen a formar los cimientos de un sólido edificio, es de gran importancia para fijar la parte que a cada uno corresponde, comenzaremos por narrar los trabajos de los que nos han precedido.

(1) M. Eugene Poloche decía en 1903: "la conductividad del aire que ha pasado sobre Fósforo es debida a iones de débil movilidad que sirven de núcleo de condensación al vapor de agua no saturante.

Es necesario, por ahora, reservarse la cuestión de saber por qué mecanismo se han formado estos iones y si su producción está ligada a la de un compuesto definido como la formación de ozono o de algún óxido de Fósforo, o si se trata de una simple modificación del oxígeno."

En 1904 Gustavo Le Bon con una piel húmeda frotó un fragmento de Ph y colocando la piel sobre el platillo del electroscopio, observó que éste se descargaba. De aquí infirió que el Fósforo, al oxidarse, presentaba fenómenos de radioactividad.

En "L' Anné Electrique" del Dr. Foveau de Courmelles (año 6o. pág. 17 y 22) encontramos dos observaciones, la primera hecha por M. Bloch, se refieren a lo movilidad de los grandes iones que se encuentran en el aire que ha pasado sobre Ph. Esta movilidad la supone igual a 0,01 de milímetro.

La segunda se refiere a una liga bautizada con el nombre de radio argentífero, y el artículo en cuestión termina diciendo:

---

(1) L'. Anné Electrique" Dr. Foveau de Courmelles 1904.

"el secreto de la fabricación consiste en el empleo del fósforo sujeto a cierto grado de calor......".

Nada nuevo ni digno de mencionarse encontramos en 1906. En 1907 se publican en México y en Europa los trabajos del Sr. Prof. Herrera que ya hemos mencionado.

En 1908, M. Garrigou relata el siguiente acontecimiento: "......dos tarjetas fueron colocadas en el cajón de una mesa al lado de una caja de cerillas. Pasadas algunas semanas, al abrir el cajón, se encontró la impresión de los caracteres de una de ellas hecha sobre la otra. Nos fué imposible a Filhol y a mí (dice Garrigou) encontrar una explicación satisfactoria de ese fenómeno; pero quedamos persuadidos de que, desconocidas emanaciones originadas en la caja de cerillas, habían sido la causa del fenómeno que acabamos de comprobar".

En este mismo año nos dice la "Revue Scientifique": "......Con objeto de establecer una estrecha liga entre la fosforescencia, ionización y producción de ozono, los Sres. F. y L. Bloch han hecho experimentos muy concluyentes (ver: "Le Radium," T. XII 1908). Estos autores hacen pasar sobre fragmentos de Ph una corriente de aire cuya velocidad va en aumento progresivo.

Ahora bien, para una velocidad creciente, se comprueba que la fosforescencia, limitada al principio a las inmediaciones del Ph se alarga en el sentido de la corriente gaseosa y acaba por separarse completamente de los bastoncillos de fósforo, dejando alrededor de éstos una zona obscura. Entonces se puede observar una columna luminosa perfectamente separada cuyos desalojamientos coinciden con las variaciones de velocidad de la corriente de aire.

Mediante un pequeño condensador convenientemente dispuesto y el empleo del papel con almidón iodado, E. y L. Bloch demuestran que la región de ionización y la región de producción de ozono, coinciden con la región de fosforescencia y que la siguen en todos sus desalojamientos. Estos hechos indican que la fosforescencia, la ionización y la producción de ozono, se realizan no por la oxidación del fósforo mismo, sino por la oxidación de una substancia emanada del fósforo y arrastrada por la corriente gaseosa. Salta inmediatamente a la vista la concordancia entre estos resultados y los importantes experimentos realizados en 1905 por Junfleisch. Del conjunto de sus experimentos Junfleisch ha concluido que la fosforescencia es debida a la oxidación del anhídrido fosforoso. Además los Sres. R. S. Scheck, E. Mihr y Bauthien han demostrado que el anhídrido fosforoso descarga los electroscopios. De todos estos hechos y de otras experiencias de los señores Bloch, se deduce esta conclusión: la fosforescencia, la ionización y la producción de ozono *no se deben a la oxidación del fósforo, sino a la oxidación del*

anhídrido fosforoso. Ahora bien, esta oxidación es una combustión viva y los iones que de ella resultan, como lo han demostrado medidas directas, son idénticos a los que se producen en la enérgica combustión de la flama. Los iones del fósforo son producidos por la combustión del anhídrido fosforoso y por lo tanto, sólo se diferencian de los iones producidos en las flamas, porque en el fósforo la flama toma el nombre de fosforescencia".

Tales son los trabajos de mayor importancia que hasta el momento de escribir éste artículo se han ejecutado.

Comenzamos nuestra historia citando los experimentos de Polch en 1903, porque en esa época ya se esbozaban explicaciones más o menos próximas a la verdad.

M. Poloch habla de iones encontrados en la vecindad del Ph; más la gloria de haber sido el primero en palpar los efectos de la radioactividad del Ph corresponde a Matteucci.

El Dr. Gustavo Le Bon dice en sus "Documentos relativos a la historia del descubrimiento de la disociación universal": "Desde 1867 Niepce de Saint Victor comprobaba que las sales de Uranio encerradas en un estuche metálico, impresionaban las placas fotográficas; después de varios meses se comprueba que la actividad es igual a la del primer día". (1).

En tal virtud declara a Niepce de Saint Victor el autor de los primeros descubrimientos de radioactividad. Tal aseveración es un tanto cuanto injusta, puesto que allá por los años de 1850 a 1855, Matteucci comprobaba que los cuerpos electrizados perdían su carga si eran sometidos a la acción del Ph.

Como tal pérdida se debe a la radioatividad del fórforo, comprobada por el mismo Le Bon, resulta que la gloria del descubrimiento corresponde a Matteucci y no a Niepce de Saint Victor.

Muchos años transcurrieron (más de 30,) sin que experimentador alguno se hubiese ocupado ni siquiera en recordar hecho de importancia tan grande como el observado por Matteucci. No es sino hasta 1890 cuando Naccari (2) fija ligeramente su atención en el Ph, y Geitel observa nuevamente la descarga de los cuerpos electrizados y la posibilidad de cargar un electrómetro (3) con el cuerpo que estudiamos. A los nombres ya anotados debemos agregar todavía los ilustres de Barus (4), Bidwel (5), Schmidt (6), etc., etc., cuyos trabajos sería largo enumerar.

---

(1) Comptes rendus de L'Academie des Sciences. 1867 "Les radiations nouvelles" 2a. ed. pág. 133. Guillaume.
(2) Naccari. Atti di Torino. T. XXV.—1890. p. 262. 257.
(3) Elster et Geitel. Ann. der Physik.—1890.
(4) American Meteorological Journal. mai 1893.
(5) Nature. T. LV.—1896.
(6) Physik Zeit.—1902.

DISCUSION DE LOS EXPERIMENTOS

Los experimentos citados fueron hechos cuando comenzaban a darse las primeras explicaciones aceptables sobre fenómenos de radioactividad y, por lo mismo, no extrañará que, consideradas las conclusiones que de tales fenómenos sacaron los autores de ellos, resulten tales apreciaciones incorrectas en gran parte al juzgarlas conforme a las nuevas adquisiciones de la ciencia.

En efecto, en aquella época podía notarse gran diversidad en la acepción de las palabras, interpretaciones variadas de un mismo hecho y aún designaciones distintas para un solo fenómeno. Así, por ejemplo, designábase con el nombre de electrón al componente de los átomos esto es al rayo *betha* y designábase este mismo componente también con el nombre de *corpúsculo*. Llamábase *ión* según Swarts, (Química Inorgánica T. I pág, 200) al producto de desdoblamiento de un electrolito y con la misma palabra se designaba en radioactividad al electrón positivo rodeado por atracción electrostática de partículas neutras y moviéndose con velocidad próxima de 30.000 kilómetros por segundo. Era el período de formación del tecnicismo propio de la radioactividad y el período en donde comenzaban a individualizarse hechos antes confundidos.

Al emprender la crítica de los experimentos que realizaron los europeos solo nos guía la intención de depurar los hechos con objeto de aprovechar lo bueno y omitir todo lo que a la luz de la lógica y de la experiencia resulte incorrecto.

Habiendo demostrado ya la falsedad de la teoría de la conductividad del aire, no necesito entrar en detalles para hacer ver con meridiana claridad que las aseveraciones de M. Poloch no son del todo correctas y que de sus experimentos solo es aceptable esta conclusión: en el aire que ha pasado sobre el fósforo, es posible demostrar la presencia de *iones*, Los demás acertos ni siquiera los toco, pues por sí sólos se valúan.

Teniendo poca importancia los hechos relatados por Garrigou, Bloch, Le Bon, etc., pues algunos de ellos tienen defectos tan grandes como el de poner en contacto substancias húmedas con el platillo del electroscopio, lo que determina una

pérdida de carga de antaño bien conocida imputable a la humedad, diremos solamente unas cuantas palabras acerca de las apreciaciones de los señores B. y L. Bloch.

La zona que los señores Bloch pretenden haber aislado de manera tan perfecta mediante el empleo de una intensa corriente de aire, carece por completo de esa precisión. Swarts en la página 323 de su Chimie Inorganique nos dice que el fósforo es un producto volátil, por consiguiente, en esa zona que los señores Bloch pretenden haber aislado de manera tan perfecta no existe únicamente como ellos creen, anhídrico fosforoso ya formado y trasformándose en fosfórico, sino que existen también moléculas de fósforo que están sufriendo una primera oxidación. Además, los señores Bloch se han detenido en la superficie; sin analizar ampliamente y sin profundizar un poco el asunto dicen: "la fosforescencia, ionización y producción de ozono *no se deben a la oxidación del fósforo sino a la oxidación del anhídrico fosforoso*".

Ya dijimos que el fósforo es volátil y que por consiguiente no hay la absoluta separación entre la primera y la segunda oxidación del fósforo; pero hay algo más que esto: la formación de anhídrido fosfórico partiendo del anhídrido fosforoso es oxidación del fósforo y nada más que oxidación del fósforo. Veamos como explica la Química ésta génesis: La molécula de anhídrido fosforoso está formada por dos átomos de fósforo pentavalente que forma un sistema hexavalente después de haber gastado cada átomo dos valencias en su unión recíproca; las seis valencias de la molécula de fósforo son saturadas por tres átomos de oxígeno metaloide bivalente. El edificio molecular queda constituído así:

$$\begin{array}{l} Ph{=}O \\ \| > O = Ph^2\ O^3 \\ Ph{=}O \end{array}$$

Si a expensas de esa molécula de anhídrido fosforoso se forma una molécula anhídrido fosfórico el proceso se verifica de la manera siguiente: dos nuevos átomos de oxígeno vienen a romper la unión recíproca de los dos átomos de fósforo quedando unidos entonces por un oxígeno central que les sirve de eslabón Los dos nuevos átomos de oxígeno que determinan esta conmoción saturan, gracias a su poder, las valencias libres que les ofrecen los dos átomos de Ph. El nuevo edificio molecular queda formado así:

$$\begin{array}{l} Ph \begin{array}{l} =O \\ =O \end{array} \\ \quad > O = Ph^2\ O^5 \\ Ph \begin{array}{l} =O \\ =O \end{array} \end{array}$$

Con indiscutible claridad se ve que el anhídrido fosfórico no se forma por vía indirecta, como por ejemplo, los ácidos de la bencina, si no que como lo habíamos dicho, el proceso químico se realiza directamente sobre el átomo de fósforo (1).

El anhídrido fosforoso determina la descarga de los electroscopios; pero sólo en el momento de pasar a anhídrido fosfórico. Más no es el único instante en que aparecen las manifestaciones radioactivas (iones y electrones) como creen los señores Bloch; la primera oxidación, es decir, la formación de $Ph^2 O^3$ va también acompañada de radioactividad como lo demuestra el siguiente experimento: si ponemos un fragmento de fósforo en presencia del electroscopio observamos una descarga que emplea un tiempo *t* en realizarse; si retiramos previamente el fósforo y después enviamos sobre el electroscopio cargado a igual potencial que la primera vez y con electricidad del mismo signo) una corriente de $Ph^2 O^3$ ya formado, el electroscopio emplea un tiempo *t'* mayor que *t* para descargarse.

En el primer caso han obrado sobre el electroscopio iones y electrones producidos en la formación de $Ph^2 O^3$ más iones y electrones originados en el paso de $Ph^2 O^3$ a $Ph^2 O^5$, en tanto que en el segundo caso han influido solamente iones y electrones producidos en la formación de $Ph^2 O^5$ partiendo de $Ph^2 O^3$.

Respecto a la calificación de la fosforescencia entre las flamas, no la tomamos en cuenta porque a nuestro juicio sólo es un juego de palabras y difícil sería a los señores Bloch demostrar en la fosforescencia las zonas características de las flamas.

De todos estos experimentos y aún de los últimamente hechos en Europa (1913) por Blanc, etc., sólo se desprende esta conclusión: Durante la oxidación del Ph hay producción de iones de débil movilidad (0. ol m. m.) y que según los autores ya citados son análogos a los que se obtienen durante los vulgares fenómenos de combustión.

Los experimentos del señor Prof. Herrera desgraciadamente no son de tomarse en cuenta, por que si bien es cierto que su autor los clasifica entre las manifestaciones de radioactividad, lo justo es que no pertenecen a este capítulo, sino simplemente se refieren a fenómenos ópticos.

El Prof. Herrera, toma fósforo y lo disuelve en bisulfuro de carbono aplicándolo después entre dos vidrios tal como lo dice en un artículo publicado en La Terapéutica Moderna. Más

---

[1]—El ciclo-exano-trieno no posee grupos terciarios; por consigriente, no puede dar orígen directo a ácidos orgánicos y para formarlos, necesita admitir primero radicales que contengan dichos grupos, para que sobre estos se efectúe el engaste del grupo [O. OH] determinante de los ácidos orgánicos. El ácido fenemetanóico, por ejemplo, se ve obligado a seguir esta vía indirecta en su formación. El grupo ácido se adhiere al radical metílico admitido previamente en el radical bencílico.

tarde ha substituído el bisulfuro de carbono por eter sulfúrico obteniendo así un efecto óptico más en armonía con lo que él buscaba.

En efecto, al oxidarse lentamente el fósforo colocado desigualmente entre las dos placas de vidrio, produce un centelleo que recuerda, vagamente, el fenómeno del espintariscopio de Crookes.

Analizando detenidamente el fenómeno se ve, desde luego, la diferencia entre uno y otro efecto.

En el caso de Herrera es la simple fosforescencia del Ph produciéndose por intervalos debido a la dificultad de penetración del aire, en tanto que en el espintariscopio de Crookes, los puntos luminosos se deben al choque de los rayos del Radio contra las moléculas de sulfuro de zinc. El mecanismo es totalmente distinto en ambos y cuando se conocen a fondo jamás podrán confundirse.

Para que el Ph produzca un fenómeno comparable al del espintariscopio se necesita que no sea el fósforo directamente el que presente el fenómeno luminoso, sino que sus radiaciones obrando sobre el sulfuro de zinc, produzcan el efecto.

Mucho tiempo trabajé intentando construir un espintariscopio en que se substituyese el Radio por el Fósforo. El problema era para mí difícil por muchos motivos insuperables, entre los que figuraban, en primer término, la falta de un sulfuro altamente fosforescente.

Ultimamente he construído un espintariscopio, que no presenta un espectáculo óptico tan hermoso como el de Crookes, pero que si lo recuerda perfectamente; el problema quedó resuelto merced a una hojita de sulfuro de zinc alemán de alta fosforescencia que me proporcionó el Sr. Dr. Barreiro. La luminosidad del Ph es un grave inconveniente para poder observar el fenómeno con entera limpidez y la poca duración de la radioactividad del Ph hace que solo durante un corto tiempo sea dable observarle.

EL FOSFORO RADIOACTIVO

El camino clásico que los autores han seguido para demostrar la radioactividad de un cuerpo, se funda en el empleo del electroscopio que se descarga, (tomadas las precauciones que ya enumeramos en la segunda parte de este trabajo) si se somete a la acción del cuerpo supuesto radioactivo.

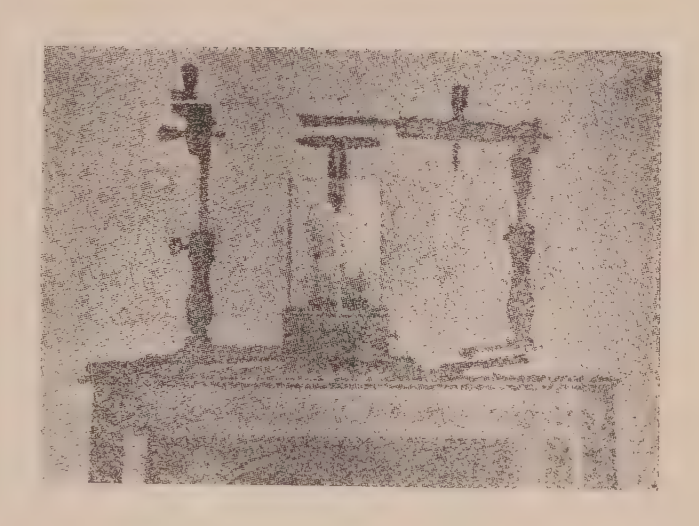
La fotografía a través de cuerpos opacos es otro medio de investigación, que, si supera en mucho desde el punto de vista de la seguridad de los resultados, es, en cambio, mucho más

lento en su práctica, ambos procedimientos usaremos en nuestro estudio que vamos a narrar cronológicamente.

Si tomamos un fragmento de Ph blanco común, tal y como lo encontramos en el comercio, y lo presentamos al electroscopio cargado, desde luego observamos que el aparato va perdiendo su carga.

Como al mismo tiempo notamos que del Ph se desprenden nubes de anhídrido fosforoso y viene a nuestra mente el recuerdo de los experimentos de M. Bloch, inmediatamente nos preguntamos si la pérdida de carga no se deberá a electrización de los vapores del Ph o a esos grandes iones idénticos a los iones de las flamas de M. Bloch.

El recuerdo de la no electrización de los gases aleja un tanto la primera idea; sin embargo, recurrimos al experimento para tener la seguridad plena.



Con objeto de eliminar la acción directa del anhídrido fosforoso interponemos entre el Ph y el platillo del electroscopio, una amplia pantalla de papel con la cual los vapores no podrán influir directamente. A pesar del empleo de la pantalla, el electroscopio *se descarga.* Ponemos entonces una pantalla de vidrio y el electroscopio *vuelve a descargarse.*

Forzoso es convenir entonces que del Ph en oxidación parten «corpúsculos» capaces de atravesar la materia. El anhídrido fosforoso queda eliminado por incapaz de producir tal fenómeno y al mismo tiempo queda probado que durante la oxidación del Ph hay algo más que esos grandes iones señalados por los europeos. Los grandes iones de las flamas son detenidos no ya por una pantalla, obstáculo demasiado compacto, sino por unos cuantos centímetros de aire. Es suficiente que una regular cantidad de aire se interponga entre la flama y el electroscopio para que la descarga cese. En cambio mediante un dispositivo que más adelante describiremos, he podido obtener la descarga del electroscopio a muy considerable distancia del lugar donde he puesto el Ph. A un metro, aproximadamente, la rapidez de descarga era notable, y en el recinto del laboratorio era apreciable la descarga en cualquier sitio en que el aparato se colocase. Esto nos recuerda lo que se cuenta a propósito del Radio.

Como el fósforo del comercio tiene impurezas entre las cuales sobre salen en primer término el azufre y el arsénico, cabe todavía preguntar si las manifestaciones de radioactividad no se deberán a los vestigios de cuerpos extraños al fósforo, aconteciendo algo semejante a lo que se observa entre el sulfuro de zinc impuro y fosforescente, y el sulfuro de zinc químicamente puro y desprovisto de fosforescencia.

Emprendí entonces una serie de operaciones consistentes en disoluciones y cristalizaciones fraccionadas que tuvieron por objeto privar el fósforo de las impurezas, llegando a obtener por este medio cristales transparentes de fósforo químicamente puro.

Ensayados estos cristales al electroscopio y con las precauciones ya anotadas, comprobé que no solamente el fósforo químicamente puro seguía presentando fenómenos de radioactividad, sino que estos fenómenos habían aumentado considerablemente al mismo tiempo que el fósforo se hacía más manejable, hecho este último, de acuerdo con las nociones químicas que sobre el particular se tienen.

DETERMINACION CUALITATIVA DE LA RADIACION DEL FOSFORO

Observando atentamente la descarga del electroscopio cuando a este aparato se le dan alternativamente cargas positivas y negativas notamos desde luego que hay diferencia en la velocidad de neutralizaciones de ambas cargas con un aumento a favor de la carga negativa.

Si recordamos el mecanismo de descarga del electroscopio veremos desde luego que es necesario admitir que durante la oxidación del fósforo no sólo existen esos grandes iones positivos, sino que alguna otra radiación, quizá negativa, debe presentarse.

Era pues necesario ver si estas radiaciones correspondían por sus propiedades a los rayos *Alpha* y *Betha* del Radio.

Dos son las propiedades esenciales que diferencian los rayos *Alpha* de los *Betha*: la carga eléctrica que para los primeros es positiva y negativa para los segundos y la velocidad de desalojamiento que es como máximo un decimo de la velocidad de la luz para los rayos *Alpha* y de 33 a 95% de esta misma velocidad para los rayos *Betha*. La masa que es notablemente distinta entre una y otra radiaciones, no debemos tomarla como propiedad esencial puesto que se deriva según los experimentos de Kaufmann y Abrahan de la velocidad siendo función de ella, lo que diferencía estos corpúsculos de las partículas materiales;

estando expresada la relación de la masa a la velocidad por la ecuación siguiente:

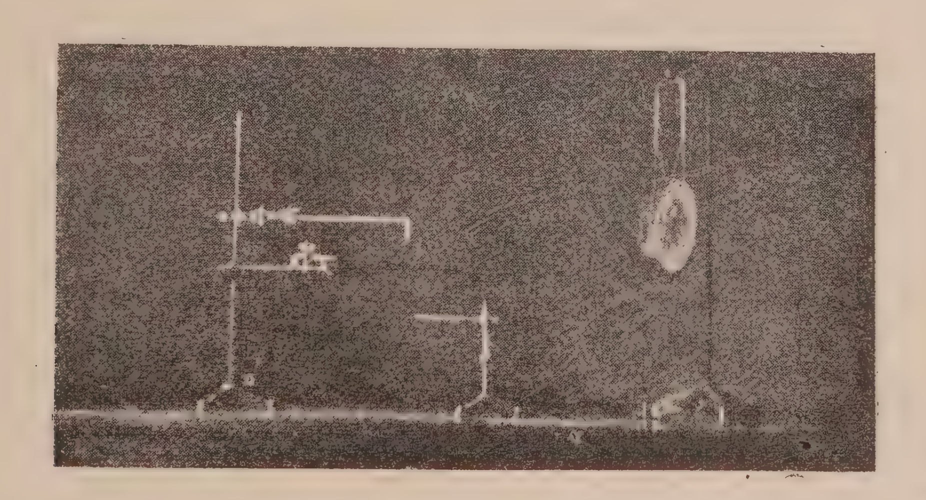
$$Y = \frac{3}{4\,X^2}\left(\frac{1 + X^2}{2\,x}\log\frac{1 + X}{1 - X} - 1\right)$$

siendo la fórmula primitiva de Max Abrahan:

$$M = M_o\,\tfrac{3}{4}\,f\,B$$

El conocimiento de estas propiedades van a servirnos para hacer la investigación y diferenciación de ambas.

El primitivo método empleado por Curie es demasiado incierto siendo mucho más práctico el que se funda en el desigual poder penetrante de los rayos en cuestión. Al efecto, interpondremos entre el receptáculo del Ph y el electroscopio pantallas adecuadas, con objeto de impedir el paso de las radiaciones deseadas.



I. Ponemos según lo demuestra la figura adjunta un centigramo de Ph preparado como se dijo en el sitio correspondiente, y distante 2,5 centímetros del platilllo del electroscopio cargado con carga negativa y a 2,000 v de potencial. En estas condiciones anotamos en nuestro registro una pérdida de carga de 30 grados en 30 segundos.

La pérdida de carga del electroscopio puede haberse efectuado por dos causas: o bien durante la oxidación del Ph ha habido una abundante emisión de radiaciones positivas que han neutralizado la carga negativa, del aparato, o bien se ha producido un torrente de rayos negativos *Betha* que chocando contra el platillo metálico del electroscopio han originado ra-

yos secundarios positivos *Alpha* y estos son los causantes de la descarga.

II. Para dilucidar este dilema recordaremos que las radiaciones *Alpha* son tan poco penetrantes que una delgada hoja de papel las detiene. Entonces será suficiente que entre el receptáculo del Ph y el electroscopio interpongamos una hoja de papel de regular espesor y de dimensiones adecuadas para evitar que algunos rayos puedan contornear el obstáculo y observar los efectos de esta interposición.

Coloquemos una pantalla de papel en las condiciones indicadas y que diste del platillo 1,5 centimetros y a 1 centimetro arriba de esta pantalla coloquemos un nuevo centigramo de nuestro Ph. La carga del electroscopio deberá ser igual en magnitud y signo.

La observación nos dice que en este caso es necesario UNA HORA Y MEDIA para que el ángulo de treinta grados se anule. (Se ha tenido en cuenta el aumento de capacidad del aparato por efecto de la pantalla.)

En virtud de estos dos experimentos podemos concluir que el Ph produce radiaciones positivas de escasa velocidad, lo que las hace poco penetrantes.

En efecto, si las radiaciones fuesen negativas en totalidad, éstas tendrían que ser electrónicas pues jamás se han podido observar de otra naturaleza cuando la electrización es de signo menos y entonces la velocidad de descarga del electroscopio hubiera sido casi igual o igual con la pantalla y sin ella puesto que los electrónes negativos no sólo atraviesan el papel sino hasta hojas de aluminio y como la descarga sería indirecta tanto en un caso como en otro las variaciones, repito, en virtud de todas las razones ya dichas, tendrían que ser insignificantes.

Si esto no ha acontecido, sino que por el contrario, las variaciones de velocidad han sido muy considerables, entonces debemos convenir en que han sido diversas las radiaciones que han obrado en uno y en otro caso, y no pudiendo haber sido negativas (por lo ya asentado) tendremos que admitir que son iones positivos.

Los experimentos anteriores los he realizado empleando la carga negativa, puesto que el objeto era averiguar la presencia de rayos positivos pero la existencia de esa lenta descarga que he observado durante el segundo experimento, nos lleva a creer que existen algunos rayos secundarios que por fuerza tienen que emanar de rayos primitivos penetrantes, puesto que han atravesado la pantalla de papel.

Si el Ph sólo produce rayos positivos como los que acabamos de ver que origina, entonces, al dar carga positiva al aparato la descarga será casi nula, como acontece con los cuerpos

que sólo emiten radiaciones *Alpha* y que por lo mismo siendo electricidades del mismo signo no pueden neutralizarse directamente y la débil pérdida de carga del electroscopio se debe a las radiaciones secundarias que se engendran.

III. Carguemos entonces, el electroscopio positivamente a 2.000 v. para producir la abertura de 30 grados y sin interpoción de pantalla alguna, coloquemos un centigramo de Ph a 25 milímetros de altura sobre el platillo del electroscopio.

La observación nos dice que la carga se anula en 45 segundos.

Luego el Ph produce algunas radiaciones negativas puesto que ha podido neutralizar una carga positiva. Mas, ¿estas radiaciones son directas o indirectas?

VI. Interpongamos una nueva pantalla que ahora será de aluminio y demos al aparato carga igual en signo y magnitud a la que le comunicamos para el experimento tercero.

En este caso la descarga tarda (9) nueve minutos en efectuarse.

Grande es la elocuencia de este cuarto experimento y nos prueba que el Ph durante su oxidación, emite rayos penetrantes negativos capaces de atravesar pantallas de aluminio.

Reuniendo estos cuatro experimentos que se completan unos a otros y por una serie de razonamientos como el que hemos empleado en la discusión del primero y segundo experimentos llegamos a la convicción de que el Ph produce rayos *alpha* y *betha*.

Probada por los medios anteriores, la existencia de rayos *alpha* y *betha* podemos emplear ya el procedimiento de Danne para dar un apoyo indiscutible a nuestro acerto.

Si colocamos un cristal de nuestro Ph entre los polvos de un potente electro-imán tendremos que observar, forzosamente la desviación de radiaciones hacia la derecha y la izquierda puesto que unos rayos están electrizados positiva y los otros negativamente.

Empleando el procedimiento clásico a que me refiero se puede comprobar que el haz radiante sufre un ensanchamiento en ambos sentidos. Luego queda plenamente demostrado que el Ph al oxidarse produce rayos alpha y betha; pero al hacer este experimento notamos que una tercera parte central no se desvía y como los cuerpos radioactivos los únicos rayos no desviables los *gamma* es entonces forzoso comprobar si esta parte de radiación existe tambien en el Ph.

Aunque el electroscopio podría servirnos para la investigación y sería suficiente con el uso de una pantalla adecuada y la observación de radiaciones secundarias, apelaremos, como más práctico, al procedimiento fotográfico.

El experimento lo hemos dispuesto de la siguiente manera: Sobre una placa fotogrática envuelta en papel negro colo-

camos bandas de papel de aluminio; encima de las bandas un matraz de cristal de paredes muy delgadas conteniendo nuestro Ph. Los rayos *alpha* serán detenidos por las paredes del matraz; los rayos *betha* que logren salir a través del cristal que ya es para ellos un buen obstáculo, serán detenidos por el aluminio; pero si existen rayos *gamma* estos si podrán atravesar el aluminio y la impresión de la placa será más o menos uniforme.

Despues de ocho días la placa fué revelada y se encontró uniforme y fuertemente impresionada.

Es necesario insistir en que para que estos experimentos salgan tal y como los describo no hay que tomar el fósforo impuro que se encuentra en el comercio. Sino que es forzoso sujetarlo previamente a las manipulaciones que indiqué para que esté en aptitud de producir el máximun de rendimiento.

En los fenómenos de radioactividad por reacción química existen numerosos factores que modifican los resultados contándose entre los principales el grado térmico y el estado higrométrico del momento.

VALORACION DE LAS DIVERSAS RADIACIONES

Siendo la descarga del electroscopio directamente proporcional al número de rayos emitidos por el cuerpo radioactivo que se observa, claro está que la misma relación debe existir entre las radiaciones entre sí y entre los tiempos que estas radiaciones emplean en neutralizar sus correspondientes cargas.

Englobando los rayos *betha* y *gamma* del Ph bajo el símbolo r'. como se engloban los mismos rayos del Radium y, a ejemplo también del Ra llamaremos r el número de rayos *alpha*.

Designemos por t el tiempo que los rayos *alpha* emplean en neutralizar la carga de 2,000 v. por t' el tiempo gastado por *betha* y *gamma* en neutralizar la carga, del mismo potencial pero de signo contrario.

En virtud de lo primeramente asentado podemos establecer la siguiente ecuación:

$$\frac{r}{r'} = \frac{t}{t'}$$

Tomando los datos que nos proporcionan los experimentos, cuando la descarga del electroscopio se verifica estando el Ph a 25 mm. de altura sobre el platillo del electroscopio y calculando la velocidad de caída de una de las hojas de oro, tanto en el caso en que los iones obran directamente, como aquel en que

los electrones actuan a través de la pantalla, encontramos, empleando la fórmula

$$V = \frac{d.\ e}{d.\ t}$$

que la velocidad de la descarga producida por los rayos *alpha* es 18,18 más grande que la producida por los rayos *betha.*

Si para eliminar el efecto de los rayos secundarios, volvemos a aplicar el cálculo a la descarga negativa indirecta de los electrones, encontramos que 0,005 de la descarga pertenece a rayos secundarios. La relación final entre *alpha* y *betha* mas algunos rayos secundarios de *gamma* que no han sido tenidos en cuenta pero que podrían eliminarse por el mismo camino, es de 5 a 100; lo que quiere decir que por cada 5 rayos *betha* y *gamma* existen 100 rayos *alpha.*

En la práctica existe una pequeña variación con el resultado teórico dependiendo esta variación de los rayos secundarios que originan al chocar contra el platillo del electroscopio las radiaciones *betha* y *gamma.*

Para conocer estas radiaciones secundarias y eliminarlas en los cálculos como lo hemos hecho en el cálculo anterior será suficiente verificar una serie de observaciones durante las cuales se modifican convenientemente las condiciones y después con los datos que proporciona el experimento se hace la corrección necesaria al primitivo cálculo.

NUMERO ABSOLUTO DE RADIACIONES POR

Molécula-Gramo de Ph

Rutherford después de múltiples experimentos llegó a encontrar que el Ur produce 70,000 rayos por segundo y por molécula-gramo quedando comprendidas en esta numeración las tres clases de radiaciones que ya conocemos.

Los trabajos de Rutheford sirvieron para tener una unidad de medida y desde entonces generalmente, el poder radioactivo se expresa en múltiplos o submúltiplos del Ur tomado como base.

El procedimiento clásico para estas determinaciones es bien sencillo y basta con colocar dos muestras de substancia radioactiva, una siendo de Ur, y observar con el electroscopio cuantas veces es una mas o menos activa que la otra.

Aplicando este procedimiento al Ph, para lo cual empleamos cantidades iguales extendidas sobre iguales superficie y coloca-

das a la misma distancia del platillo del electroscopio hemos obtenido, como media de una serie de experimentos, que el Ur descarga el electroscopio con una abertura angular de 30 en 300 segundos de tiempo lo que está de acuerdo con las medias europeas y el Ph produce la descarga de 30 grados en 5 segundos por termino medio, lo que hace al Ph 60 veces mas activo que el Uranio.

Si admitimos con Rutherfod que el Uranio produce 70,000 radiaciones en la unidad de tiempo el Ph deberá producir en ese mismo tiempo y por molécula-gramo pues así esta hecho el cálculo, 4.200,000 rayos *alpha*, *betha* y *gamma*, pudiendo elevarse esta cifra, en condiciones apropiadas hasta 5.000,000.

MODIFICACION DE LAS RADIACIONES DEL Ph

Aunque probada la existencia de los rayos *betha* y *gamma* no había por que dudar de la posible impresión de la placa fotográfica a través de los cuerpos opacos quisimos alejar toda sospecha que la impresión pudiera deberse a vestigios de vapores ácidos producidos durante la oxidación del Ph, y al efecto, dispusimos el siguiente experimento. La mitad superior de un matraz de vidrio de Jena fué metalizada con hojas de estaño formando un casquete esférico, dentro del matraz se extendió una delgada capa de Ph y el matraz fué tapado con un tapón de goma provisto de los tubos de cristal, uno aductor que llegaba hasta el fondo del matraz y otro abductor, corto, y en comunicación con una tromba de agua. Se coloca una placa fotográfica en un chassis común de fotografía y sobre la cortina del chassis se pusieron diversos objetos metálicos. En una caja metálica y herméticamente cerrada se colocó el chasis con sus objetos metálicos, el matraz como a 3 centímetros encima del chassis y de la caja metálica salían, por pequeñas perforaciones los tubos aductores y abdustores ya mencionados.

En estas condiciones era evidente que solo rayos penetrantes podían impresionar la placa.

Después de 8 días la placa fué revelada y se encontró la impresión perfectamente hecha.

Este experimento y otros varios se realizaron y que no los describo por ser puntos intermedios, más en todos ellos era factor insuperable el tiempo, tanto más grande para la exposición, cuanto mayor era el espesor del obstáculo interpuesto y cuanta mayor precisión se quería obtener en los detalles sin pasar de un límite muy difícil de marcar pues cuando el tiempo de exposición era superior al necesario la placa comensaba a velarse y aun terminaba por quedar completamente negra.

Era necesario encontrar la manera de reforzar las radiaciones *betha* para conseguir dos objetos: primero disminuir el tiempo de exposición y segundo, dar precisión a los contornos.

El problema se presentaba difícil pues ante nosotros se alzaba la afirmación de los europeos diciendo que una vez lanzado un conjunto de "corpúsculos" era imposible modificarlos. Más todavía, si un cuerpo producía n corpúsculos con una velocidad v ningún medio físico o químico era suficiente para modificar esa constante.

"Hasta hoy no se ha llegado, a pesar de numerosas tentativas, ni a disminuir ni a destruir, por ningún procedimiento, la radioactividad de un elemento radioactivo ni a hacer radioactivo un elemento que no lo es. El proceso radioactivo se realiza con una velocidad determinada que en la actualidad es *imposible modificar.*" [Soddy.—"La Química de los Elementos Radioactivos." p. 2. 1915.]



Dispositivo del autor que permite modificar el poder penetrante de las radiaciones.

Mas a pesar de esto, recordemos que los rayos *betha* son átomos de electricidad negativa y que un cuerpo electrizado [negativamente en este caso] no es otra cosa que una superficie cubierta de átomos de electricidad negativa, si tal es la carga del cuerpo, y entonces se nos impone esta conclusión: si por un procedimiento x nosotros podemos comunicar constantemente una carga negativa al cuerpo radiante, los rayos *betha* que son electricidad negativa en movimiento tendrán que ser rechazados enérgicamente, puesto que es una ley perfectamente probada que electricidades del mismo signo se rechazan.

En cambio, si al cuerpo radiante le comunicamos carga positiva los rayos *betha* tendrán que desaparecer pues la otra parte de la misma ley citada dice: electricidades de nombre contrario se atraen y se neutralizan.

Por dos procedimientos puede hacerse la electrización del Ph, directamente a por condensación. En el primer caso basta con extenderle sobre una superficie metálica aislada, y para el segundo la manipulación es todavía más fácil puesto que una lámina de cristal provista de una armadura podía servir al mismo tiempo de soporte.

Como las pruebas materiales son más elocuentes que las palabras voy a presentar los resultados de estas dos series de experimentos que han venido a demostrar que la modificación de los fenómenos radioactivos es posible aunque sea en parte; lo que está en completo acuerdo con lo que la teoría hacía preveer.

El dispositivo general consta de una máquina de Wimshurst pequeña, (discos de ebonita de 25 centímetros de diámetro) accionada por un motor eléctrico; una placa metálica en comunicación con uno de los polos de la máquina y sobre esta placa se coloca el chassis de la cámara fotográfica provisto de su correspondiente placa sensible. Sobre la parte superior del chassis y sostenida por pivotes de azufre, la placa portadora del Ph radioactivo.

El primer experimento que se realizó con este dispositivo consistió en someter una placa sensible a la acción del campo electrostático formado entre ambas placas pero *sin poner Ph.* El objeto de este experimento era tener la seguridad plena que en esas condiciones no había producción de efluvios radioactivos.

Cuarenta y ocho horas después fué revelada la placa. *No se encontró l menor impresión.* Luego el dispositivo podía emplearse sin el menor temor de que a él pudiera imputarse exclusivamente la impresión fotográfica.

Realizado este experimento, comenzamos con la serie de pruebas que constituía el plan previamente trazado.

El primer experimento de la serie consistió en poner el Ph radioactivo sobre una superficie de cristal y la placa en su chassis como a dos centímetros debajo. En este primer experimento *no se dió electrización ninguna.* Era necesario saber cual era el poder natural del Ph puesto sobre cristal. El tiempo de exposición ha sido en todos estos experimentos de *cuarenta y ocho* horas. Para hacer comparables todos los experimentos se escogió un cuadro metálico que es el que aparece siempre en cada fosforradiografía. El aumento del poder penetrante y número de rayos se juzga por la mayor o menor intensidad de la impresión.

Las pruebas positivas que siguen darán una idea de la marcha de los experimentos.

EXPERIMENTO PRIMERO

Debil impresión del cuadro metálico.

El fósforo radioactivo se colocó en una placa de cristal a dos centímetros de distancia sobre el chassis.

No se hizo la menor electrización.

Tiempo de exposición: el indicado en lugar correspondiente.



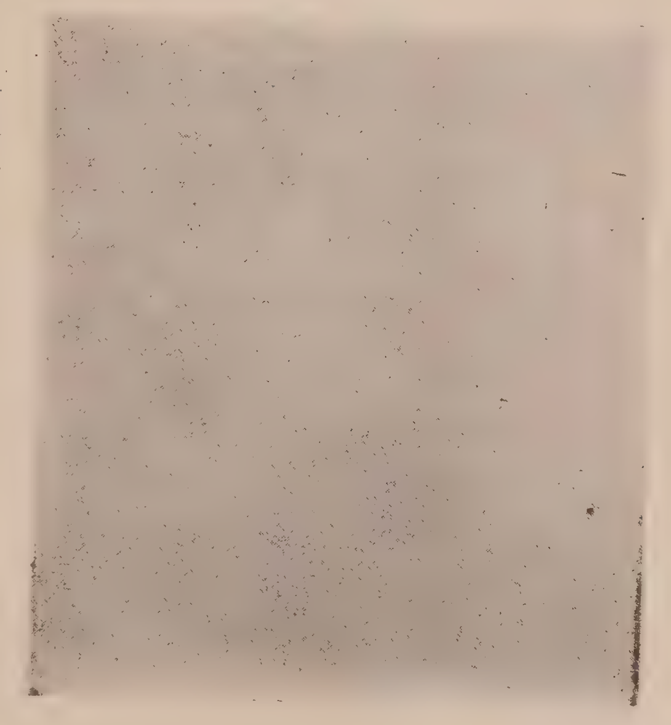
EXPERIMENTO SEGUNDO

La impresión del cuadro metálico es un poco más intensa que la del experimento anterior.

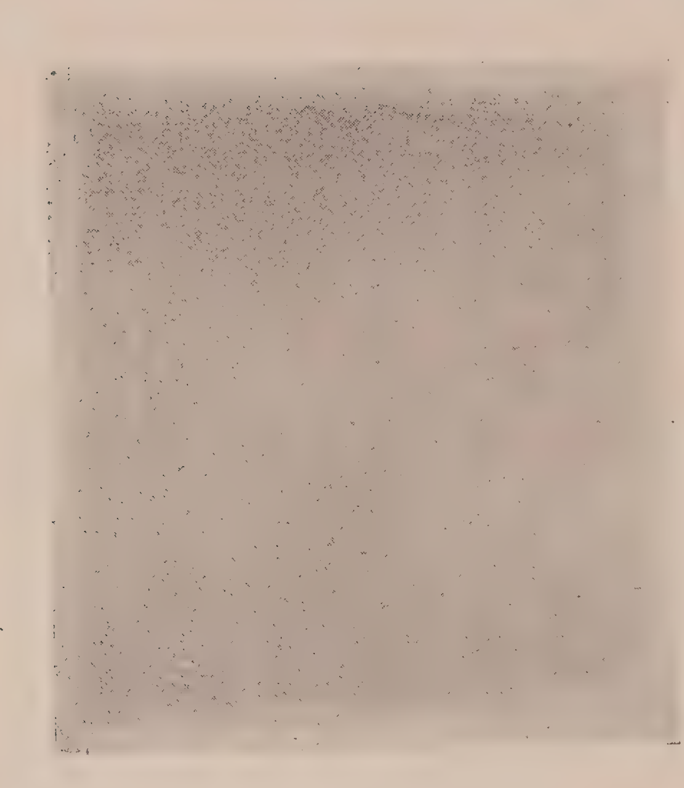
El fósforo radioactivo se extendió en una placa metálica a la misma distancia que en el experimento anterior.

No se hizo la menor electrización.

Tiempo de exposición: el mismo que en el experimento anterior.



EXPERIMENTO TERCERO



La impresión del cuadro es ligeramente más intensa que la del experimento segundo.

El fósforo radioactivo se extendió en una placa de vidrio. Sobre el vidrio se colocó la armadura superior de un condensador electrizada positivamente.

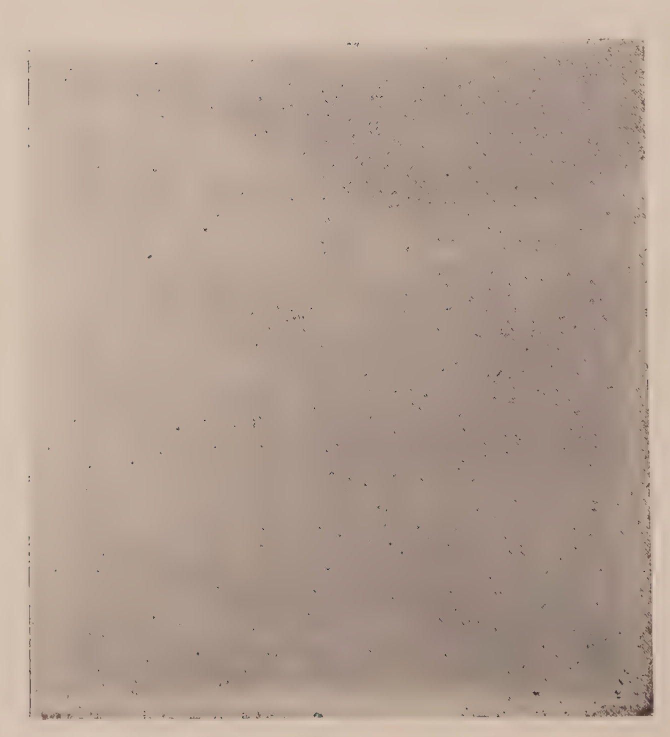
Chassis a la misma distancia que en los experimentos anteriores.

En la parte inferior del chassis se colocó la armadura negativa del condensador.

Efecto: Neutralización de los rayos *Betha;* aumento de penetración de los rayos *Alpha;* no hay alteración en la radiación *Gamma.*

Tiempo de exposición: el mismo que en los experimentos anteriores.

EXPERIMENTO CUARTO



La impresión del cuadro es un poco más intensa que en el experimento tercero.

El fósforo radioactivo se extendió en una placa metálica que se electrizó positivamente.

Chassis a la misma distancia que en los experimentos anteriores.

En la parte inferior del chassis se colocó la armadura negativa del condensador.

Efecto: el mismo que en el experimento tercero.

Tiempo de exposición: el mismo que en los experimentos anteriores.

EXPERIMENTO QUINTO

La impresión del cuadro es mucho más intensa que en los experimentos anteriores.

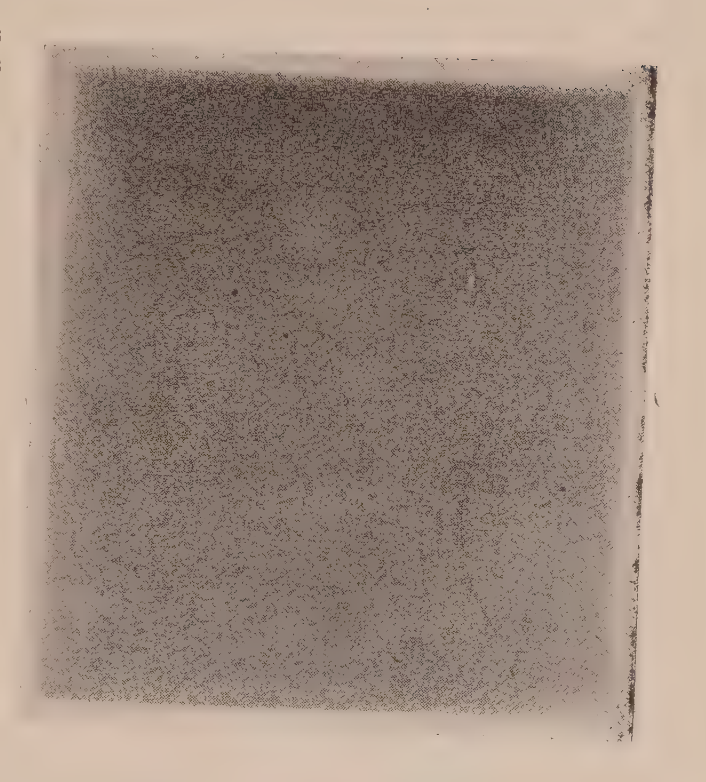
El fósforo radioactivo se colocó en una placa de vidrio; sobre el vidrio se colocó la armadura superior de un condensador electrizada negativamente.

El chassis a la misma distancia que en los experimentos anteriores.

En la parte inferior del chasis colocó la armadura positiva del condensador.

Efecto: las partículas negativas o rayos *Betha*, son rechazados enérgicamente acrecentando su poder de penetración; los rayos *Alpha* neutralizados totalmente; los rayos *Gamma* no sufren alteración.

Tiempo de exposición: el mismo que en los experimentso anteriores.



EXPERIMENTO SEXTO

La impresión del cuadro es un poco menos intensa que la del experimento quinto, pero más que la de los anteriores.

El fósforo radioactivo se colocó en una placa metálica electrizada negativamente.

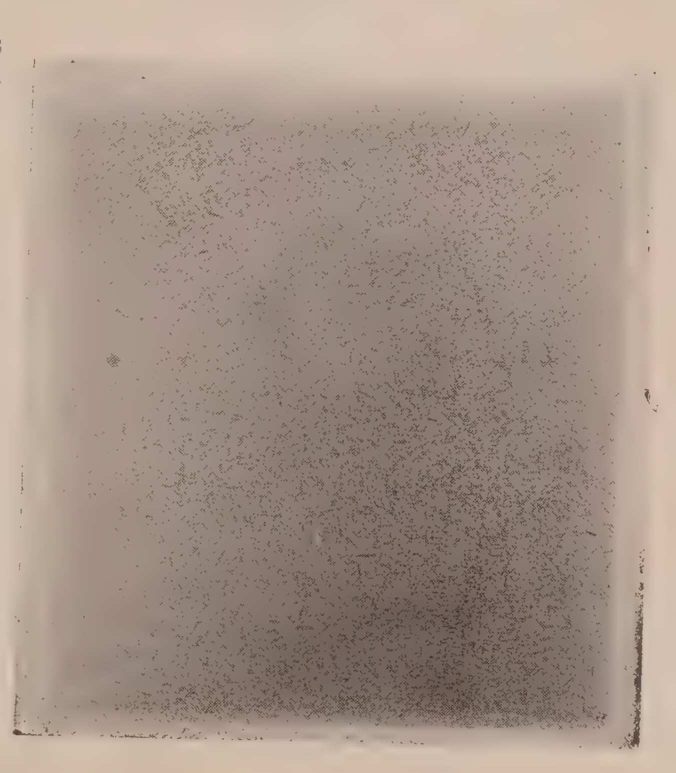
El chassis a la misma distancia que en los experimentos anteriores.

En la parte inferior del chassis se colocó la armadura positiva de un condensador.

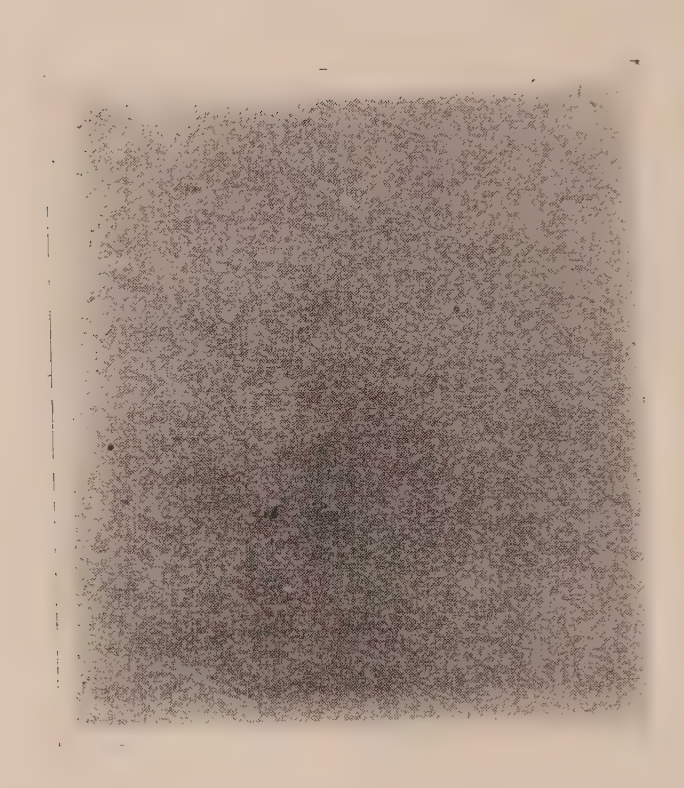
Efecto: el mismo que en el experimento quinto.

Tiempo de exposición: el mismo que en los experimentos anteriores.

Aunque la intensidad de la impresión es menor que la del experimento quinto, hay que notar que la impresión de la placa es de una uniformidad perfecta.



EXPERIMENTO SÉPTIMO



La impresión del cuadro no es tan intensa como la del experimento anterior.

El fósforo radioactivo se extendió en una placa de vidrio; sobre la placa de vidrio se colocó la armadura superior de un condensador electrizada negativamente.

El chassis, a la misma distancia que en los experimentos anteriores, se aisló por medio de tabletas de azufre.

No se colocó la armadura inferior del condensador.

Efecto: igual al del experimento quinto. La menor intensidad de la impresión, con relación a dicha prueba, se debe a la falta del polo inferior del consador.

Tiempo de exposición: el mismo que en los experimentos anteriores.

EXPERIMENTO OCTAVO



La impresión del cuadro es tan intensa como las del experimento cuarto.

El fósforo radioactivo se extendió en un reflector parabólico metálico electrizado negativamente.

El chassis a cuatro centímetros del foco.

Polo condensador inferior positivo.

Efectos: rayos *Alpha* neutralizados; rayos *Betha* rechazados enérgicamente y lanzados en haz paralelo; supresión de los rayos divergentes.

Tiempo de exposición: sesenta minutos.

El gran poder penetrante de las radiaciones del fósforo es de antaño conocido; en junio de 1900 De Marsy publicó en la "Nature" la fotografía de un experimento de Gustavo Le Bon demostrando el paso de las radiaciones del fósforo a través de un tubo metálico.

Textualmente dice el autor: "Se ve en la fig. 1 el tubo B C de *metal* soldado en el cual se encierran los cuerpos en experiencia Las partículas producidas en las reacciones químicas (por ej.: el aire sobre el fósforo) atraviesan las paredes de metal para descargar el electroscopio de proyección D. G." [1].

Más no es suficiente saber que los rayos del fósforo en oxidación son capaces de atravesar hojuelas metálicas ni que sus rayos pueden sufrir un aumento de velocidad mediante el artificio que hemos señalado y cuyos primeros experimentos, intentando el reforzamiento de las radiaciones, datan desde 1908 en que efectué las tres experiencias fundamentales que desde entonces publiqué; era necesario averiguar detalladamente cual era el poder penetrante de dichas radiaciones.



Para dilucidar tal punto dispusimos una serie de cuadrados de papel de estaño cuidando que cada cuadrado circunscripto difiriese del inscripto un medio centímetro lo que les daba el aspecto escalonado.

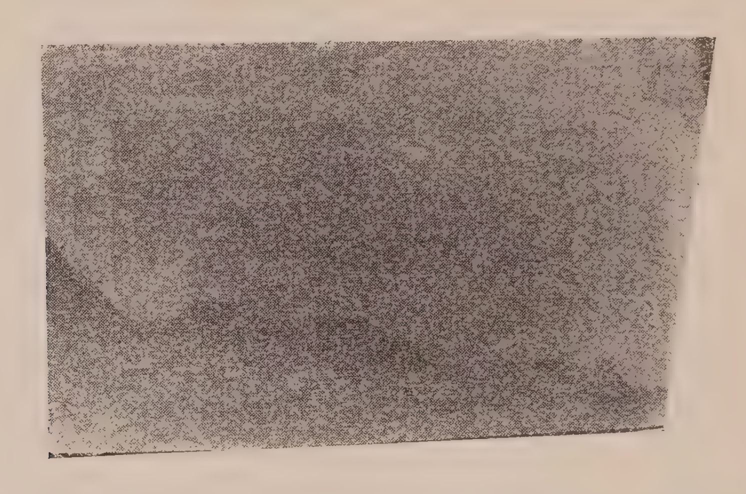
Dispuesto así el experimento obtuvimos la siguiente prueba fotográfica en la cual pueden verse, con entera claridad, hasta siete cuadrados concéntricos.

Aquí viene a mi memoria una serie de hechos que se verificaron con motivo de estos experimentos y que no debo dejar de anotarlos.

Con motivo de haberse manchado la placa primera intentamos obtener otra que no tuviese defectos. Dispusimos el experimento y cuando hubo transcurrido el tiempo necesario de exposición procedimos a revelarla. Llegó un momento en que tanto mi buen amigo y preparador Dr Eliseo Ramírez como yo comenzamos a ver uno, dos, tres cuadros grabados sobre la placa; pero a medida que el tiempo pasaba los cuadros se borraban, se esfumaban y la placa terminaba por presentar un

[1].—La Nature. año 28. Núm. 1410, 2 de junio de 1900, 2o. semestre.

ligero velo. El fenómeno se repitió varias veces. Hicimos diversas pruebas para cerciorarnos de que no era un fenómeno subjetivo y al final caímos en cuenta que se trataba nada menos que del fenómeno ya señalado por Le Bon y anotado por Guilleminot referente al poder que tienen algunas vibraciones de destruir lo que otras han hecho. Placas impresionadas con



rayos X es posible, como lo dice Guilleminot, borrarles la impresión y hasta invertirla con tal de exponerlas a una luz de longitud de onda apropiada.

En el caso de nosotros la luz rojiza de nuestro cuarto obscuro nos destruyó, no una, sino varias impresiones de diversos experimentos.

ACCION DE LAS RADIACIONES DEL Ph SOBRE LA GERMINACION

Mi buen amigo el Sr. Profesor D. Isaac Ochoterena, distinguido botánico e histólogo eminente, ha estudiado la acción de las radiaciones de fósforo sobre la germinación de las semillas.

El Profesor Ochoterena describe así sus experiencias: "....Puse Ph disuelto en bisulfuro de carbono entre dos placas de vidrio 5 x 7, sellando sus bordes con parafina; entre cuatro cristales dispuestos de esta manera encerré varias semillas de sandía habiendo reservado otras, tan semejantes a las primeras como es posible, separadas y en las condiciones ordinarias; al cabo de tres días puse a germinar cinco semillas de las primeras y cinco de las segundas; a los dos días y medio habían germinado todas las sometidas a la acción de las radiaciones, mientras que al cabo de tres días, solo brotaron dos de las ordinarias; pasadas unas de estas semillas a dos macetas en idénticas condiciones, también se ha notado una gran diferen-

cia, pues mientras unas plantitas [las sometidas a la acción del Ph], han llegado a alcanzar 14 cm. de altura, las otras solo tienen ocho; he practicado otros muchos experimentos con diversas semillas, obteniendo idénticos resultados; pero en donde también se observa de una manera admirable el aumento de actividad protoplásmica, es en los esporos de Helecho, cuyo protalo aparece mucho antes que en otros que no han recibido radiaciones; por último sembré semillas de sandía que han estado sometidas desde el 18 al 22 a la acción de las radiaciones del Ph, y hasta la fecha no han podido germinar".

* * *

No debo terminar este resumen sin recordar los notables experimentos de Colson sobre lo que él llama la semi catálisis del fósforo en los cuales, empleando este metaloide, ha podido obtener derivados de la bencina y de la trementina. Estos experimentos nos recuerdan aunque lejanamente, algunos semejantes que se han hecho con el Radio. Nuestra falta de elementos nos ha impedido repetir estas notables experiencias que son de gran porvenir.

La temperatura tiene en estos fenómenos poca influencia y los derivados oxigenados se producen a todas las temperaturas.

Probablemente el ozono que se produce alrededor del fósforo es originado, como en el Radio, por efecto de las partículas electrizadas que parten del Ph en oxidación y la fosforescencia debe tener un origen semejante al que presenta este fenómeno cuando se encuentra ozono en presencia de humedad. Si alguna vez disponemos de elementos, sin duda que emprenderemos tal estudio y ratificaremos o rectificaremos algunos otros.

RADIOACTIVIDAD INDUCIDA

Cuando un cuerpo se encuentra en presencia de un elemento enérgicamente radiactivo, como el Torio o el Radio, dicho cuerpo adquiere propiedades radioactivas temporales. Este fenómeno es clarísimo tratándose de los metales.

El agua y los diversos líquidos en los cuales pueda disolverse la "emanación" son susceptibles de adquirir la propiedad que estudiamos. Una buena parte de las fuentes terminales, cuyas aguas presentan fenómenos radiactivos, deben a esta causa tal propiedad.

La radioctividad inducida se debe, sobre todo a la "emanación" que se incrusta mas o menos profundamente en el cuerpo inducido y determina en él perturbaciones de equilibrio atómico que tienen como resultante la producción de algunas radiaciones ionizantes.

Para que un cuerpo se encuentre dotado de radioactividad inducida es necesario que la emisión de "corpúsculos" se efec-

túe por un tiempo más o menos grande a partir del momento en que estuvo sujeto a la acción del cuerpo inductor, pues no basta con que el metal, por ejemplo, emita radiaciones cuando se encuentra en presencia del elemento.

Kleemen demostró que cuando una hoja metálica se encuentra sujeta a la acción de una substancia radioactiva emite mayor cantidad de radiaciones por la cara opuesta a la que recibe los afluvios, lo que depende, sin duda, de que por dicha cara aparecen no sólo los "corpúsculos" que han atravesado la hojuela, sino también los que se originaron en dicha hojuela por efecto del choque contra sus átomos de algunos rayos penetrantes del cuerpo radiante.

Esta emisión, sin embargo, no puede considerarse como un caso de radioactividad inducida pura porque desaparece en el momento en que la hojuela cesa de estar en presencia del cuerpo radiante, en tanto que la radioactividad inducida, tal como la señora Curie la considera, persiste más o menos tiempo después de separado el cuerpo inducido del inductor.

El calor tiene influencia sobre la radioactividad inducida pues si un cuerpo hecho radiactivo por el mecanismo que estudiamos es llevado a un alto grado de calefacción, la "emanación" que contenía se disipa rápidamente y el cuerpo vuelve al estado neutro. Veces hay en que es necesario llevar el cuerpo hasta el rojo blanco para destruir la radioactividad inducida. Respecto al caracter de cada una de las radiaciones que parten del cuerpo inducido nada tienen de particular; sus propiedades son las que ya conocemos a propósito de los rayos *alpha*, *betha* y *gamma* o la "emanación."

En la mayor parte de los casos el cuerpo que presenta radioactividad inducida sólo es una especie de recipiente, de soporte de la "emanación" y el poder ionizante que adquiere depende tan sólo de los rayos *alpha* que la "emanación" lanza.

La "emanación,"descubierta por Rutherford, existe según Thomsom en la mayor parte de la materia y por lo tanto, teóricamente, el fenómeno que estudiamos es uno de los más comunes, Sin embargo, para poder apreciarlo es necesario que el cuerpo inductor sea de los que figuran en primera línea como el Radio, el Torio, etc; no obstante yo lo he podido apreciar con el Fóstoro en oxidación. Es frecuente que después de varias horas de trabajar con el mismo electroscopio, éste ya no dé indicaciones exactas y aun presente una espontánea descarga lo que le hace inservible para medidas de precisión. Esto se debe a la radioactividad inducida que se ha desarrollado en el platillo. Entonces es necesario que pasen varios días para que el aparato vuelva a servir o que se valga uno de los medios ya indicados para destruir la "emanación."

TERCERA PARTE

LA AFINIDAD

El estudio de la materia debía conducirnos forzosamente a la investigación del mecanismo íntimo de la unión de los átomos. Ningún punto de la Química presenta mayor interés y ninguno tampoco es más obscuro. En efecto ¿por qué se une el O y el H cuando forman $H^2 O$?

¿Por qué cuando se forma $N I^3$ desaparece calor en tanto que al formarse $S O^2$ se llega hasta la producción de la flama?

La Química permanece muda. Las explicaciones que da casi rayan en lo metafísico. Las leyes de la Química carecen de nexo y no son la consecuencia de una ley general.

La simple yuxtaposición de los átomos en los compuestos es inaceptable y Boyle decía lo siguiente: "si los átomos quedasen inalterables durante las combinaciones, las propiedades de los compuestos debería ser las sumas o los valores medios convenientemente formados de las propiedades de los elementos," lo que no sucede y Ostwald robustece esta idea diciendo en su obra sobre la Evolución de la Química pag. 15 que "es sorprendente, por ejemplo, que las enérgicas propiedades de los ácidos y de las bases desaparezcan cuando se unen para formar una sal."

Pidamos luces a la termoquímica y esta nos dirá que la afinidad es la derivada $\left(\frac{-d. E.}{d. M.}\right)$ del potencial químico tomada con signo contrario, y según sea esta derivada mayor o menor que cero así habrá afinidad o no la habrá.

Para aceptar esta definición tenemos forzosamente que aceptar también la definición de Potencial de Gibbs así como la Entropia.

Pero, ¿hemos por esto adelantado algo en el terreno positivo? ¿Conocemos algo más del fenómeno?

Ya el ilustre conde de de Berthollet había hecho notar nuestra ignorancia en este punto y trató de remediar el mal admitiendo una especie de gravitación de los átomos [1] Bergmann, contemporáneo y enemigo de Berthollet también admitió una especie de gravitación atómica y Wenzel se mostró aunque no del todo, partidario de esta idea.

Los enciclopedistas dejaron escapar el mismo concepto aunque sin fundamento científico y Diderot se hace partidario de él.

---

(1) Statique Chimique.—Recherches sur la loi d'affinité. Berthollet.

Pero todos estos esfuerzos se estrellaban ante un obstáculo insuperable: la inercia del átomo.

El átomo era la última partícula de materia y según lo enseñaba la antigua ciencia la materia era toda pasividad, la energía era algo totalmente diverso, independie de la materia y encargada de animarla cuando el caso lo requiriese. La teoría dualista se oponía a la moderna teoría monista que al fin se ha impuesto gracias a los colosos que la sostienen a la cabeza de los cuales debemos contar a Ostwald.

Forzoso es entonces para darnos cuenta del mecanismo de unión atómica conocer la constitución de la materia.

CONSTITUCION DE LA MATERIA

Cuando el hombre ha ignorado el por qué de las cosas ha inventado las fábulas, los mitos y los seres sobrenaturales para dar pretendidas explicaciones evadiendo así obstáculos que le harían confesar su ignorancia.

Ignorantes los griegos de la causa que produce el rayo inventaron a Júpiter para que en su furia los lanzase a la Tierra para castigo de los mortales. Eolo desataba su odre de los vientos y hacía conmoverse los dominios de Neptuno.

Ignorantes los antiguos físicos del por qué del ascenso del agua en los tubos de las bombas aspirantes explicaban el fenómeno diciendo que la Naturaleza tenía horror al vacío.

Y el fenómeno se repetía a cada instante.

Thales el padre de la filosofía griega enseñaba que cuanto existe tuvo su origen en el agua o era simple modificación de ella. Los discípulos de Thales no se tomaron la molestia de investigar si tal manera de ver las cosas era justificada y si la hipótesis era suficiente para las necesidades científicas de la época. Necesitaron pasar algunos años para que se viera que tal concepción era insuficiente. Entonces los filósofos se esforzaron por explicar el mundo añadiendo solamente algo a la hipótesis de Thales; alguien agregó el fuego, otro el espíritu, etc. y todos y cada uno esforzábanse por demostrar que con su adición era suficiente para llenar las necesidades que se notaban.

Adelantaron los conocimientos y entoces se reconoció que esta hipótesis monista en el fondo era, a pesar de las adiciones, insuficiente. Se abandonó el sistema unitario y se recurrió al sistema dualista llegando hasta a invocar los principios opuestos, como el amor y el odio, el bien y el mal.

Tampoco esta explicación satisfizo las necesidades filosóficas Aristóteles buscando semejanzas y percibiendo diferencias quiso encontrar experimentalmente las propiedades fundamentales

de la materia y creyó que cuanto existe puede tener alguna de las siguientes cualidades o combinaciones de estas cualidades, que eran para Aristóteles lo FRIO, lo CALIENTE, lo SECO y lo HUMEDO de donde resultaban cuatro combinacianes aceptables:

FRIO < SECO / HUMEDO > CALIENTE

Tipo de lo frío y húmedo era el agua; de lo frío y seco fué la tierra; lo húmedo y caliente estuvo representado por el aire y el fuego caracterizó lo seco y caliente.

Estos eran los cuatro elementos de Aristóteles y con ellos los peripatéticos construían el Mundo.

Sin embargo, esa redoma de los cuatro elmentos que nos muestran en los Laboratorios de Física para que recordemos constantemente los pasos que la Ciencia ha ido dando lentamente, no es la representación exacta de las ideas aristotélicas; en ella se encuentra Mercurio y tal concepto fué introducido por los árabes que fueron los herederos de los adelantos científicos de los griegos cuando éstos comenzaron a declinar.

Los sabios árabes notaron bien pronto la deficiencia de los conceptos aristotélicos y vieron que aquellas cuatro propiedades no bastaban para caracterizar toda la materia. Cuando los árabes conocieron los metales comenzó a esbozarse la verdadera idea de ELEMENTO. Entonces escogieron el Mercurio para simbolizar los metales y desde esa fecha el Mercurio entró a formar parte de los elementos simbólicos o filosóficos que no hay que confundir con los elementos materiales.

Otro símbolo de origen árabe es el asufre filosófico y así le llamo para no confundirlo con el azufre material y que significaba la propiedad combustible.

Como se ve en esta época ya se había llegado al conocimiento de elemento en una acepción muy próxima a la que tenemos en la actualidad y los árabes conocían perfectamente los cuerpos simples teniendo representantes de los metales y de los metaloides; sin embargo no tenían aún idea distinta de los elementos y confundían hechos que hoy conocemos como diferentes.

Esta confusión llegó hasta los romanos y Plinio confundía el Plomo con el Estaño creyendo que sólo se trataba de variedades de la misma substancia refiriéndose a esto al hablar de Plomo negro y de Plomo blanco.

Necesitamos llegar hasta Roberto Boyle (1627-1691) para encontrar una idea precisa. Boyle hace notar que los elementos no son las propiedades sino que son unidades de existencia real e independiente y que las propiedades están con ellos.

Como definición de elemento da la siguiente: cuerpo que no es susceptible de ser descompuesto y que puede dar otros mediante combinaciones con otros elementos.

Para nuestro propósito basta con estas ligeras nociones aunqe la idea distinta de elemento no pueda tenerse si no recurrimos o las interpretaciones dadas por Gibbs.

A pesar del gran adelanto que la Ciencia había alcanzado, todavía dominaba en ella el error y Becker lanzaba en aquella época su idea acerca del Flogístico que era acogida con entusiasmo por el genio de Stahl que la popularizaba merced a su renombre. Lavoisier, el padre de la Química moderna, a pesar de haber comprobado que durante la combustión no hay simplificación de productos sino al contrario, complicación de ellos por fijación de oxígeno demostrado así de manera irrefutable la falsedad de la concepción del Flogístico, sin embargo no pudo substraerse a la influencia de las ideas dominantes de su tiempo y en su tabla de clasificación de elementos colocó el Flogístico entre los que llamó elementos imponderables.

Es necesario que el tiempo pase y que aparezcan los trabajos contemporáneos de Willard Gibbs (1839-1902) para llegar a tener el concepto de elemento en toda su pureza. Sin embargo, no entraremos en pormenores porque sería necesario principiar por los conocimientos de FASE, cambios HYLOTROPOS y ENTROPIA factores indispensables que solamente menciono porque su estudio detenido nos llevaría muy lejos.

Con la adquisición de tales hechos mucho hemos adelantado; pero falta mucho aún por conocer puesto que el elemento químico no es la última división de la Materia. Cada elemento está formado por infinidad de partículas idénticas a así mismas y con sus propiedades específicas: son los átomos de Dalton.

Berzelius, una de las figuras más grandes en el cielo de la Química, se mostró, al principio, enemigo de la concepción daltoniana; pero cuando más tarde encontró comprobada la hipótesis de Dalton y verificada a cada paso se tornó ferviente partidario de ella y fué uno de sus mayores propagandistas contribuyendo con su gran prestigio para la aceptación de la teoría atómica que contaba con no despreciables adversarios.

La concepción molecular llenó más tarde el vacío entre el elemento y el átomo.

El genio se adelanta a los acontecimientos en multitud de ocasiones Proust se adelantó a su época y aunque la representación material de su idea no encontró cuerpo donde cristalizar no por esto es menos admirable la penetración de su talento que presintió la existencia del substratum de la materia.

Los imperfectos medios para determinar el peso atómico, que sólo daban múltiplos enteros del peso del Hidrógeno, llevó

a Proust a la creencia errónea que toda la materia era tan sólo conglomerados de Hidrógeno agrupados en diversas proporciones y formas. El ilustre Dumas defendió con brío esta hipótesis; pero al encontrar como peso atómico del Cloro el número 35, 53 la idea de Proust vino por tierra forzosamente. El problema quedó en pié y el átomo continuó siendo la unidad de materia.

Muchos años transcurrieron. Toda una serie de descubrimientos al parecer inconexos con el punto que tratamos se realizaban. Röntgen descubría y estudiaba los rayos X al continuar las investigaciones de Lenard sobre los rayos catódicos. Los esposos Curie descubrían el Radio y Gustavo Le Bon generalizaba los fenómenos radioactivos a la Materia toda; Zeemann estudiaba el desdoblamiento de las rayas espectrales bajo la acción del campo magnético y Rutherford, Thomson (J. J.), Lord Kelvin (W. Thomson), Larmor, Lorenz, Ramsey, Crookes, Painlevé, Elster y Geitel, Lepape, Sutherland, etc., etc., aportaban cada uno nuevos e incontrovertibles hechos convergentes cuyo resultado fué el conocimiento perfecto del "electrón", el componente del átomo ¡la unidad universal de la materia!

La antigua hipótesis de Proust, combatida con ardor mediante los experimentos de Marignac y brillantemente defendida por J. B. Dumas, renació, después de un siglo, sólidamente apoyada en los hechos, Mas no es ya el Hidrógeno, proteo inaceptable, la unidad de materia; los experimentos han demostrado sin lugar a la duda más pequeña que; "*El átomo está compuesto de electrones y sólo de electrones*". (Larmor). ¡El "electrón" es el substratum de los mundos!

Y no es el "electrón" un elemento hipotético, imaginario, no, es el electrón una unidad que podemos ver mediante su poder condensante del vapor de agua; que podemos medir su masa encontrándola igual a 0,001 de la masa del átomo de Hidrógeno; que podemos calcular su velocidad cuyos límites hallamos comprendidos entre 90 y 99% de la velocidad de la Luz; que tiene una carga electrostática apreciada por Rutherford en 4.6×10^{-10} U. E. S. y finalmente con una masa eléctrica igual a 14×10^{-20} Coulombs.

Si toda la Materia está compuesta de electrones ¿en qué difiere pues el oro del estaño, el cobre del azoe, etc., etc? En las memorias de los autores ya señalados se encuentra la contestación detallada pero que en resumen es la siguiente: los átomos difieren unos de otros por el número de electrones que contienen, por la velocidad con que estos giran, por el plano eclíptico en que se mueven, por el sentido recíproco de sus rotaciones y por la distribución de sus cargas tanto positivas como negativas.

Diferencias muy pequeñas en la colocación de los componentes son suficientes para que las propiedades de un cuerpo sean

totalmente diversas. Un ejemplo clarísimo encontramos en los compuestos orgánicos donde un compuesto *orto* tiene propiedades diversas de su isómero *meta* o *para*. Los trabajos de Liebig y Woehler que abrieron estos horizontes son clásicos.

Las palabras de Paternó explican estos hechos claramente: "Lo mismo que el protoplasma ha podido formar la célula y ésta al individuo, así el Eter ha podido formar el electrón y este al átomo" (Discurso inaugural del Congreso de Química Práctica reunido en Roma el 26 de abril de 1906).

Mas para tener una idea exacta de la constitución del átomo nada me parece más claro y expresivo que el siguiente fragmento de H. Poincaré: "El átomo no es ya un elemento simple, se ha convertido en un verdadero Universo donde millares de planetas gravitan alrededor de minúsculos soles. Soles y planetas son aquí partículas electrizadas, sea positiva sea negativamente, que se llaman electrones y con los cuales se construye hoy el mundo." (La Mecanique Nouvelle).


Un átomo

Como representación de lo que antecede podemos dar la siguiente figura.

Conocida la estructura del átomo tenemos fundadas esperanzas para contestar por la afirmativa la pregunta de Moissan cuando decía: "¿Llegaremos al fin a esta transformación de los cuerpos simples los unos en los otros, que desempeñaría en Química un papel tan importante como la idea de la combustión sentada por el penetrante genio de Lavoisier?" El día estará más o menos lejano pero llegará al fin.

Este conocimiento del átomo nos lleva como de la mano a encontrar la realización del sueño de Berthollet (1) "La afinidad sólo es un caso particular de la gravitación universal".

LA NUEVA EXPLICACION.

El antiguo aforismo: "Corpora non agunt nisi soluta" (Regnaul.—Cours de Chimie. T. I pág. 5.) no tiene otro objeto que poner en íntima relación los cuerpos que van a reaccionar pues la única condición indispensable para que dos elementos se unan es que estén en perfecto contacto, los experimentos de Spring lo demuestra así cuando ha podido realizar combinaciones sometiendo los componentes tan sólo a enérgicas presiones.

Swarts dice en el tomo primero página doce de su tratado

(1) Essai de statique chimique. 1803.—Recherches sur la loi d'affinité 1807.

de Química los siguiente que se relaciona con lo que venimos tratando: "para que la afinidad pueda unir dos cuerpos es necesario que las partículas de éstos sean móviles, lo que se consigue en el estado líquido o en el gaseoso. Cuando los cuerpos que se desea hacer reaccionar son sólidos se les lleva al estado líquido sea por fusión o más fácilmente por disolución.

No es indispensable que ambos sean líquidos uno de ellos puede ser sólido con tal que el otro sea gaseoso o líquido, etc."

Y en la página 13 de la misma obra asienta: "......entre los procedimientos que pueden emplearse para facilitar el contacto entre dos cuerpos que se desea combinar hay que recordar la presión. Esta debe ser muy enérgica. Las hermosas experiencias de M. Spring han demostrado que si se comprime a 6000 atmósferas por ejemplo una mezcla de azufre y de hierro, éstos se combinan".

Acortadas las distancias entre los centros iónicos mediante cualquiera de los procedimientos que acabamos de enumerar se dejan sentir esas "atracciones o repulsiones determinadas por el sentido de rotación de los electrones" de que nos habla el profesor de Heenen en sus Prodromes d'une theorie de l'electricité, (1903.) atracciones o repulsiones que están de acuerdo con los experimentos de Weyher y Bjerkness sobre éste punto. Es evidente que entre los átomos debe acontecer algo comparable a lo que sucede en los grandes sistemas planetarios cuando una masa cósmica caé bajo la acción de otra; si la primera es de masa mucho mayor que la segunda entonces ésta gravita alrededor de aquella. Así explican los astrónomos la presencia en nuestro sistema solar de cometas desconocidos o de órbita retrógrada. Este intercambio de materia cósmica no se efectúa sin consecuencias; choques y trastornos más o menos considerables se producen, no sólo con los cometas de órbita parabólica, sino también con los de elíptica.

El anillo de asteroides de nuestro sistema es considerado por algunos como el resultado del choque entre masas cósmicas.

La atracción entre dos átomos es consecuencia de su movimiento mismo como caso particular que es de la atracción newtoniana, la Revue Scientifique de 13 de enero de 1914, nos trae las palabras de Armand Gautier que dice: "El átomo material animado de movimientos giratorios debe transmitir este movimiento al Eter y mediante éste a los cuerpos lejanos bañados en éste mismo Eter......en virtud de la inercia éstos cuerpos tenderían a unirse......en una palabra estos cuerpos deben atraerse".

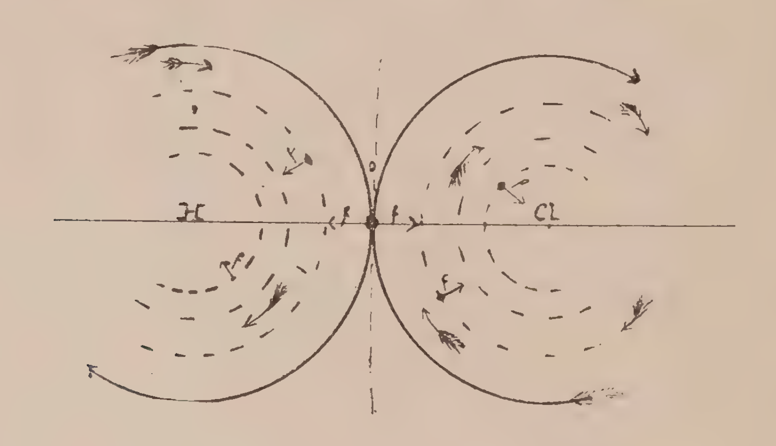
Cuando dos o más átomos se encuentran en recíproca presencia y de la interferencia de sus órbitas electrónicas resulten choque de electrones y por ende pérdida o ganancia de "corpúsculos" los átomos se combinarán.

"La aptitud de los elementos para entrar en los compuestos químicos depende de la aptitud de sus átomos para adquirir cargas electrónicas" (Le Bon, E. de la M. pág. 220.) y agrega después: "Todas las reacciones químicas no serían debidas sino a pérdidas o adquisiciones de electrones". (Op. cit. pág. 228).

Como las conbinaciones pueden ser de dos maneras: exotérmicas o endotérmicas con sus recíprocas descomposiciones, examinaremos separadamente cada una de ellas.

COMBINACION EXOTERMICA.—Supongamos que se trata de la formación de HCl, combinación fuertemente exotérmica. Escojo este compuesto de dos átomos solamente para que la explicación resulte lo más clara posible.

Representemos en un plano cada uno de los átomos de H y de Cl y supongamos que primero se encuentran a cierta distancia que poco a poco se va acortando sea por efecto del calor que dilata las órbitas electrónicas, por la luz, etc.



Si los electrones de ambos átomos giran en el mismo sentido, (que supondremos sea en el mismo sentido que lo hacen las manecillas de un reloj) llegará un momento en que las órbitas de los electrones periféricos interfieran y en ese momento tiene que producirse un choque forzoso entre los dos electrones como lo explica la adjunta figura.

El equilibrio de ambos sistemas tiene que perturbarse y los electrones que chocaron seguirán forzosamente la resultante de las fuerzas que concurrieron en el punto de choque. Como la fuerza centrífuga predomina en ese momento los electrones periféricos forzosamente dejarán de formar parte de cada sistema atómico y materializando lo que sucede en este caso vemos que en cada uno de los átomos tanto de H como de Cl quede una fuerza igual a f que tiende a precipitar algo hacia el ion central de cada átomo. Si la suma de estas fuerzas, igual en totalidad a 2f, es suficiente para hacer gravitar el átomo menos pesado al rededor del más pesado la combinación se habrá verificado.

Si la fuerza no es suficiente para realizar la unión de los átomos por lo menos hará que los iones centrales se aproximen y un nuevo choque electrónico se verificará hasta obtener una fuerza igual a 3f, 4f, etc., que baste para que el sistema doble se forme.

Así quedará un sistema doble, por ejemplo, que será una minúscula representación de los sistemas cósmicos dobles o múltiples tales como *Alpha* de la Cruz del Sur, *Alpha* de Picis, ≶178 y ≶102, la P de Eridan, o la triple 40 de la misma constelación, etc.

En este caso hemos supuesto que dos o más electrones chocan, de donde forzosamente tiene que resultar la aparición de calor puesto que cierta cantidad de movimiento se anula (Ley de Mayer;) por otra parte, la cantidad de calor que aparezca durante la reacción será proporcional al número de electrones perdidos por cada átomo y como cada electrón perdido representa una fuerza igual a *f* que une los componentes claro está que mientras mayor sea el número de electrones perdidos más fuerte será la unión de los átomos componentes y mayor la cantidad de calor liberado, luego esta ficción representativa nos explica ya varias cosas, a saber:

I. Qué fuerza ha unido a los átomos.

II. Por qué ha surgido calor durante la reacción y finalmente justifica la observación clásica de la mayor estabilidad de los compuestos a medida que el calor desprendido durante la reacción es mayor. Pero esto no es todo, aún quedan dos fenómenos capitales por explicar.

Ostwald nos dice que casi no hay reacción química que no vaya acompañada de producción de electricidad y Le Bon afirma que muchas reacciones son el orígen de fenómenos radioactivos.

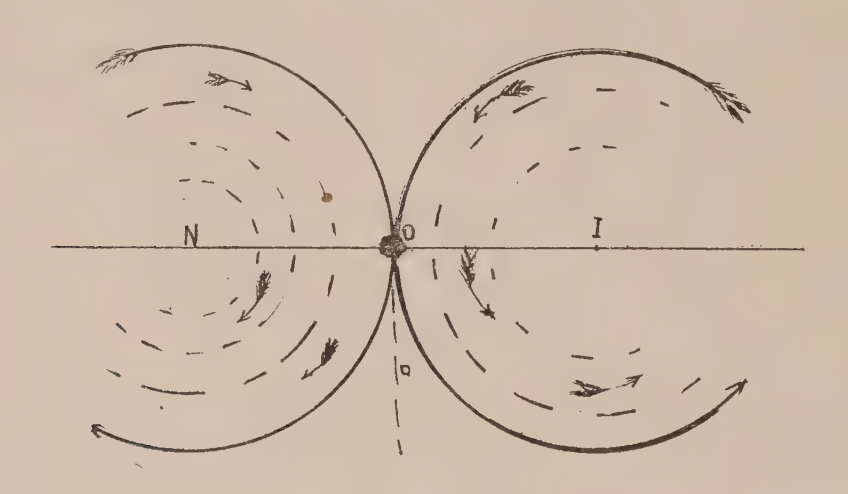
Veamos como nuestra ficción también explica estos dos hechos.

Nada tenemos que poner de nuestra parte, basta con recordar las modernas interpretaciones de los hechos dados por Nipher, Cantor, de Heen, etc., para que teniendo en cuenta nuestra hipótesis se puede uno explicar el origen de la electridad de las pilas, acumuladores o de cualquiera reacción.

Según las modernas teorías de la electricidad sabemos que la corriente eléctrica no es otra cosa que electrones en movimiento y las manifestaciones radioactivas sólo están constituídas por electrones que se mueven en el espacio con velocidades próximas a la de la luz. Si durante el fenómeno que describimos hemos admitido que algunos electrones se han puesto en libertad forzoso es admitir que algunos fenómenos eléctricos se observarán y si algunos electrones han sido proyectados en el

espacio nada de extraño tendrá que se nos presenten como manifestaciones de radioactividad. Si la velocidad con que un electrón gira al rededor de un ion es igual a la que tiene la luz el electrón proyectado puede tener velocidad igual a ésta siempre que el ángulo de choque sea de 120° y aún mayor si es menos abierto.

COMBINACION ENDOTERMICA.—En el caso anterior supusimos que tanto los electrones del átomo de H como los del Cl giraban en el mismo sentido. Supongamos ahora que se trata de formar NI_3 y que las rotaciones de los electrones sean en sentido contrario.



En este caso al encontrarse dos electrones en el punto de choque *O* no habrá destrucción de movimiento puesto que no hay dos fuerzas opuestas sino que ambos electrones en ese momento sigue igual dirección y el electrón delantero sólo ve aumentar su movimiento por el impulso recibido del electrón posterior. En virtud de este aumento de velocidad viene un desequilibrio entre la fuerza centrípeta y la centrífuga que aumenta y el electrón tendrá que ser proyectado fuera del átomo. La fuerza que tienda a hacer gravitar un átomo al rededor del otro sólo será igual a *f*.

Si esta no basta para efectuar la unión de los átomos será necesaria nueva cantidad de energía exterior para producir otro desquiciamiento electrónico.

Claramente se ve por qué en este caso no puede haber aparición de calor y la necesidad de una fuerza exterior para que la reacción continúe verificándose así como la poca solidez de estas uniones.

Las descomposiciones recíprocas no las detallo porque los conocimientos generales de mecánica bastan para darse clara cuenta de su mecanismo y de los fenómenos que durante ellas se verificarán.

LAS LEYES DE LA QUIMICA Y LA NUEVA HIPOTESIS

Poca o ninguna utilidad presentaría la hipótesis que propongo si esta no llenase todas las condiones y pruebas a que debe sujetársela o si llegase a estar en contradicción con alguno de los principios establecidos por la experiencia. De nada serviría si solamente diese cuenta del mecanismo de la unión de los átomos quedando en pugna con las leyes fundamentales de la Química. Afortunadamente esta hipótesis no solamente da cuenta de los hechos ya narrados sino que viene a ser el lazo de unión entre las diversas leyes de la Química las cuales pasan a ser una consecuencia de ella.

Supongamos la ley de Proust; claro está que si suponemos constante la masa de cada átomo una fuerza constante será necesaria para hacerla gravitar al rededor del sistema central, de donde se infiere la relación invariable del peso de los elementos de un compuesto.

La ley de Dalton, la que marca los números proporcionales, la de Luy-Lussac, etc., pueden inferirse fácilmente de la hipótesis antes dicha. Las dimensiones de este librito nos impiden entrar en detalles que reservamos para una próxima obra especial sobre este asunto donde expondremos no sólo estos puntos sino también una interpretación posterior a nuestra hipótesis (publicada por primera vez en 1911) que parece una imitacion europea de lo que nosotros hemos hecho, solo que referida a los «magnetos.»

La valencia atómica es consecuencia de esta manera de ver las cosas.

LAS OBJECIONES A LA NUEVA HIPOTESIS

Examinando detenidamente el proceso de combinación que hemos explicado encontramos que se levanta desde luego una objeción seria que de no resolverse satisfactoriamente echa por tierra la ficción propuesta. En efecto, si durante las combinaciones hay pérdida de electrones forzoso es convenir que los elementos no son invariables y que el peso atómico tendrá que sufrir modificaciones; lo que sería contrario a la Ciencia ortodoxa que afirma la invariabilidad de los elementos.

La objeción hubiera sido incontestable hace algunos años no obstante que H. Saint-Clair Deville declaraba a sus alumnos que él no creía en la persistencia de los elementos en los compuestos; pero en la actualidad tal objeción no tiene valor atendiendo a los últimos experimentos y declaraciones de los maestros en este asunto.

Ostwald, el insigne profesor de química de Leipzig, dice: "es contrario a toda evidencia admitir que la materia que ha sufrido una reacción química no desaparezca para ceder su puesto a otra dotada de nuevas propiedades. ¿No es un contrasentido pretender que una substancia exista sin variar sus primitivas propiedades? En efecto, esta hipótesis de pura forma, no tiene más que un objeto: poner de acuerdo los hechos generales de la Química con la noción, completamente arbitraria, de una Materia inalterable."

Y Gustavo Le Bon concluye de sus bien llevadas experiencias que: «Habiendo probado por la experimentación, cuyos detalles se encuentran al final de esta obra (Ev. de la Mat. pg. 157. Ed. de 1908.) que la disociación de la Materia es un fenómeno general tenemos fundamento para decir que la doctrina de la invariabilidad de los pesos atómicos, sobre la cual se basa toda la Química moderna, no es sino una engañoza apariencia resultado únicamente, de la falta de sensibilidad de las balanzas. Bastaría que la balanza fuera suficientemente sensible para que las leyes de la Química se transformasen en simples aproximaciones. Con instrumentos precisos veríamos, en muchas circuntancias, y especialmente durante las reacciones químicas, que el átomo pierde parte de su peso.»

Si nos limitásemos a las anteriores opiniones, a pesar de su valor indiscutible, serían restringidas, pero afortunadamente para nuestra hipótesis la misma opinión existe en multitud de sabios distinguidos. El Profesor Urbain, miembro de la Comisión Internacional de Pesos Atómicos, concluyó en su artículo «Las Leyes Fundamentales de la Química,» qué: actualmente se puede afirmar que si los pesos atómicos son variables, lo son entre límite muy pequeños.» En efecto, si cada átomo perdiese un electrón, su peso no habría disminuido sino $0{,}5 \times 10^{-27}$ de gramo, o lo que es igual:

$$\frac{5}{10{,}000{,}000{,}000{,}000{,}000{,}000{,}000{,}000{,}000}$$

de gramo, cantidad inapreciable para la balanza actual. El mismo profesor Urbain agrega más adelante: «........estos cambios no son absolutamente despreciables y dan la medida según la cual se pueden, en la actualidad considerar las leyes químicas como rigurosas.»

El sabio profesor Naquet no sólo admite la variabilidad del peso atómico, sino que entusiasmado ante los progresos de la Ciencia exclama. "Yo creo posible la transmutación de los elementos y aun posible la creación de nuevos elementos" (Alfredo Naquet. La transmutation et la création des elements.)

No ha dicho otra cosa Jean Becquerel en su conferencia de 10 de abril de 1910 dada en el anfiteatro del "Museum" sobre "Les idées modernes sur la constitution de la Matiere" cuando asienta: "......estando entonces formadas todas las substancias por cargas eléctricas *el átomo material no puede considerarse más como inmutable* y, sin ser alquiminista, se puede decir que *la transmutación de la materia no es una utopía.*"

Las opiniones citadas son de peso tan grande que inútil es agregar más para demostrar que hoy en día tal objeción no puede existir y por consiguiente la hipótesis propuesta no pugna con ninguno de los principios hoy admitidos, estando, al contrario, en perfecto acuerdo con la Ciencia contemporánea. "Las especies químicas, como las especies animales, no son invariables." (Le Bon. Op. cit, 278.)

LA NUEVA HIPOTESIS Y LA TERMOQUIMICA

Aunque sin entrar en detalles que nos quitarían espacio y que por conocidos muy bien se pueden suprimir veremos como la hipótesis propuesta sigue siendo fecunda en amplicaciones en consonancia con los principios admitidos y representando esa ley "general que uniese los principios ahora independientes y de la cual se pudiesen inferir" por la que el filósofo francés ha suspirado.

El segundo principio de la termodinámica nos autoriza para considerar en una reacción la variación de energía así:

$$\frac{Q - Q_1}{Q} = \frac{T - T_1}{T}$$

o lo que es igual

$$\frac{Q}{T} = \frac{Q_1}{T_1}$$

Si hacemos que el fenómeno se realice en ciclo cerrado y reversible entre las temperaturas $T + dT$ y T; $Q - Q_1$ expresará dQ.

$$dQ = Q_1 \frac{dT}{T_1}$$

Si esto se realiza en transformación isoterma y reversible, la variación de energía $Q = W$

$$d\,W = Q_1 \frac{d\,T}{T_1}$$

Conforme al primer principio de la Termodinámica........... $Q_1 = W + q$ y siendo éste calor perdido, tendremos $Q_1 = W - q$, substituyendo, tenemos:

$$d\,W = \frac{d\,T}{T_1}\,(W - q)$$

Siendo el trabajo máximo y el calor de la reacción en este caso F (T), vemos que las curvas $W = f\,(T)$ y $q = f\,(T)$, se aproximan en forma asintótica, sin serlo precisamente, cuando $\frac{d\,T}{T_1}\,W$ tiende hacia cero lo que sucederá en el cero absoluto; entonces ambas curvas se confundirán.

Luego en el cero absoluto

$$\frac{d\,W}{d\,T} = \frac{d\,q}{d\,T}$$

Del principio de Nernst que acabamos de desarrollar podemos obtener fácilmente el principio de Berthelot dándole el enunciado de Urbain; "Cuando el calor desprendido siguiendo una isoterma es despreciable con relación al calor liberado en la transformación expontánea que admite los mismos estados extremos, el sistema, en esta última transformación, llega a un estado final tanto más estable cuanto mayor ha sido el calor desprendido.

El principio resulta pues, una consecuencia de la hipótesis propuesta. El calor desprendido durante la reacción será tanto más grande cuanto mayor sea el número de electrones desquiciados de los sistemas atómicos de los componentes, puesto que la pérdida de cada electrón representa una transformación de movimiento que se traduce por *c* calorias.

Por otra parte, si cada electrón es atraído hacia el ion central con una fuerza igual a f, la fuerza total de combinación crece en razón directa del número de electrones perdidos durante la reacción.

Ambos factores varían en el mismo sentido. Por consiguiente, a mayor cantidad de calor desprendido durante la reacción mayor valor tendrá f y la reacción será más estable.

Los demás principios pueden demostrarse de manera análoga y nuestra próxima obra tratará estos puntos con detalle.

NOTA

Algunos errores se han deslizado en la impresión de esta obra; pero son tan aparentes que el lector fácilmente los enmendará. Así, por ejemplo, en la página 16, línea 12, dice: 10^{18}, debe decir 10^{-13}. Aunque la cifra exacta no sería fácil saberla, pero desde luego se echa de ver que el exponente debe ser negativo. Y así otros.

En otros casos la falta de signos y literales apropiadas ha hecho que las fórmulas no tengan la apariencia admitida generalmente. Dado que todo esto ha dependido de causas insuperables y ajenas a nuestra voluntad esperamos que sea dispensado por el lector.

FIN.



INDICE